

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA



Estudio sobre la evaluación del potencial fotovoltaico en el Polígono Industrial de Coslada

Trabajo Fin de Máster

Curso 2015-2016

Máster en Tecnologías de la Información Geográfica

Autora: Patricia Montecino Huedo

Tutores: Javier Domínguez Bravo (Ciemat)

Juan Carlos García Palomares (Dpto. de Geografía Humana)

Septiembre 2016

Agradecimientos

Mi agradecimiento al Ciemat por haberme dado la oportunidad de formar parte de su equipo durante estos meses, especialmente al grupo gTIGER, dirigido por Javier Domínguez y formado por Vicente Roque, Ana María Martín, Luciano Romero, Jorge Alberto González y Iosu Duo. Gracias por todo el tiempo que me habéis dedicado y por lo que he aprendido de cada uno de vosotros.

También quiero agradecer a mis profesores del Máster en TIG por todo lo que me han enseñado este año, especialmente a Juan Carlos García Palomares por su ayuda en este proyecto.

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un estudio sobre la evaluación del potencial fotovoltaico en el área industrial de Coslada, que se incluye dentro de un proyecto creado por Ciemat y dirigido a la empresa Gas Natural. El área de estudio se sitúa en el Este de la Comunidad de Madrid formando parte de un eje industrial económicamente muy importante conocido como Corredor del Henares.

El estudio desarrollado parte de un análisis SIG aplicado a través de un modelo geográfico que, utilizando una serie de datos espaciales y datos solares, realiza los cálculos oportunos para generar unos resultados visuales sobre la instalación de módulos fotovoltaicos en los tejados de un conjunto de edificaciones.

Previo al análisis, la preparación de los datos adquiere un gran peso para el correcto desarrollo de este proceso, y por ello se expone de forma práctica la dificultad y el trabajo que conlleva obtener unos datos de calidad y precisos. Para mostrar la importancia que tienen los errores en los datos espaciales se ejemplifica con la preparación de los datos de un estudio similar al de este trabajo, desarrollado en el Polígono Industrial de El Oliveral, en Valencia.

Cuando los datos han sido editados de la forma adecuada y se ha ejecutado el modelo geográfico, se considera que los resultados obtenidos son fiables y precisos. Estos resultados muestran: los niveles de radiación que presentan los tejados de las naves industriales; la superficie de estos que puede ser aprovechada para la instalación de módulos fotovoltaicos; y lo más importante, la potencia que se puede instalar en cada tejado, y la energía que se generaría para cada nave industrial.

En este trabajo se asigna un papel importante a la representación de dichos resultados, ya que se está tratando con datos espaciales, los cuales poseen un método de exposición visual más fácil de comprender para el usuario, como son los mapas. Una variante de estos son los visores cartográficos, en los que además el usuario puede interactuar con la información.

Lo que se pretende demostrar con este estudio es la importancia que presenta desarrollar las energías renovables en España, y cómo se pueden crear herramientas y aplicarlas en diferentes estudios para concienciar a la población e informarla de las tecnologías que pueden utilizar de manera personal, no solo para colaborar con el cuidado del medio ambiente, sino también para conseguir un ahorro energético, y por lo tanto económico, importante.

Palabras clave:

SIG, Energías Renovables, Sistemas Fotovoltaicos, Modelo Geográfico, Tejado, Polígono Industrial, Cartografía.

Abstract

Throughout this project a study about the evaluation of photovoltaic potential in the industrial area of Coslada is developed, and at the same time it includes in a created project by Ciemat and it is conveyed to Gas Natural Company. The study area is placed in the East of Madrid Community which formed a part in very important industrial and economic zone known as “Corredor del Henares”.

The study deals with a part of an analysis GIS applying through a geographic model using a string of spatial data and solar data, carry out the most adequate calculation in order to generate some visual results about the installation of photovoltaic modules on the roof of a group of buildings.

Before analysis and preparation of data, it obtains a big reason for the correct development of this process and it shows in a practical way the amount of difficult work it involves to obtain correct and precise data. To expose how important it is the error of these spatial data it is, they were compared with another similar studies which took place in “Polígono Industrial de El Oliveral”, in Valencia.

Once data have been issued correctly and geographic model has been executed, the obtained result are considered fiddle and precise. These studies show the level of solar radiation present on the roof of industrial unit, the surface of them which can be used for photovoltaic modules, and the most important, the potential which can be install in each roof, and energy which will be obtained for each industrial unit.

In this task, a very important role is given to the presentation and introduction of the obtained results as we are dealing with spatial data which much more compressive visually by the users such as maps. A variety of these are cartographic visors, in which the users can interact with the information as well.

What it is trying to demonstrate through this studies is how important the development of renewable energy are in Spain, and how tools can be created in order to be applied in different studies to make aware inhabitants of a zone and information them of the technology they can use in a individually, not only to collaborate to conserve environment, but also to obtain considerable energetic saving.

Key-words:

GIS, Renewable Energy, Photovoltaic System, Geographic Model, Roof, Industrial Units, Cartography.

Índice

<i>Agradecimientos</i>	1
<i>Resumen</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<i>Índice</i>	4
1. Introducción	6
1.1. Las energías renovables	6
1.2. Energía solar: térmica y fotovoltaica	6
1.3. Situación en España	7
1.4. Impacto paisajístico y energía urbana: áreas industriales	10
1.5. Las TIG aplicadas a estudios de sistemas solares	11
2. Objetivos	13
3. Metodología	14
4. Antecedentes y estado del arte	15
5. Descripción del área de estudio: Polígono Industrial de Coslada	22
6. Preparación de los datos y análisis de los errores	26
6.1. Datos requeridos para el proyecto	26
6.2. Proceso de edición de los datos	31
6.3. Análisis de los errores en los datos	36
6.3.1. La importancia de la calidad de los datos en un SIG	36
6.3.2. Detección y gestión de los errores en el estudio sobre el Polígono Industrial El Oliveral en Valencia	37
7. Ejecución del modelo geográfico en el Polígono Industrial de Coslada	44
7.1. Mejoras realizadas para este proyecto en el modelo geográfico utilizado	46
8. Análisis y cartografía de los resultados	48
9. Representación cartográfica de los resultados: Visor Web	54
10. Conclusiones	59
11. Futuras líneas de investigación	62
12. Referencias bibliográficas y recursos digitales	63

<i>Anexo</i>	65
Modelo Digital de Superficie del P.I. de Coslada.....	I
Mapa de Inclinación de los Tejados en el P.I de Coslada.....	II
Mapa de Orientación de los Tejados en el P.I de Coslada.....	III
Mapa de Sombras en los Tejados en el P.I de Coslada.....	IV
Mapa de Radiación Solar en los Tejados en el P.I de Coslada.....	V
Mapa de Radiación Global Anual de los Tejados del P.I de Coslada.....	VI
Mapa de Superficie Útil de los Tejados del P.I de Coslada.....	VII
Mapa de Proporción de Superficie Útil de los Tejados del P.I de Coslada.....	VIII
Mapa de Potencia Instalada en los Tejados en el P.I de Coslada.....	IX
Mapa de Energía Generada en los Tejados en el P.I de Coslada.....	X
Imagen 1. Visor cartográfico.....	XI
Imagen 2. Visor cartográfico: elementos presentes en la ventana.....	XII
Imagen 3. Visor cartográfico: utilización de los widgets.....	XIII
Imagen 4. Visor cartográfico: ventanas emergentes.....	XIV

1. Introducción

1.1. Las energías renovables

El mundo atraviesa un momento en el que es importante plantearse otras formas de abastecerse de las que se han llevado a cabo hasta ahora, considerando que el medio ambiente se encuentra en una situación crítica por la actuación del ser humano, especialmente en el último siglo.

La población aumenta y se va desarrollando cada vez más, ampliando así el consumo de la materia que proporciona la naturaleza. Como ya se sabe, mucha de esa materia utilizada hasta ahora, comúnmente conocida como combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural), tiene una fecha de vencimiento, por lo que no se puede seguir consumiendo eternamente, y menos aún a los niveles que se hace, que son cada día mayores. A esto se le añade el problema de que la producción de la energía a través de los combustibles fósiles genera mucha contaminación, lo que hace aumentar el efecto invernadero, y de esta forma, incrementa la posibilidad de un rápido y próximo desarrollo del cambio climático.

La solución para ponerle freno a estos problemas viene de la mano de las energías renovables. Se denominan así a las cuales se generan a través de fuentes naturales inagotables, como pueden ser el viento, la luz solar, o la fuerza mareomotriz entre otras. En una primera aproximación, se comenzó hablando de energías alternativas para suplir las utilizadas hasta el momento. Esta idea nació entorno a los años 70 y se ha extendido hasta la actualidad de forma que el concepto “alternativa” ha sido sustituido por “renovable” ya que estas ya no son consideradas como una solución alternativa, si no como el futuro a la hora de cubrir las necesidades energéticas de una población cada vez mayor y más desarrollada.

Con el desarrollo de las energías renovables ha tomado gran relevancia la idea del autoconsumo. Es especialmente en la generación de energía eléctrica donde ha aumentado la aplicación del autoconsumo como solución a la sobreexplotación y contaminación del medio natural. A su vez, esta aplicación evita la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de electricidad, ya que consta de un sistema propio en el que se genera y consume energía individualmente.

1.2. Energía solar: térmica y fotovoltaica

Continuando con lo mencionado en el apartado anterior, el autoconsumo es protagonizado por la energía renovable de tipo solar. La energía solar es la que se recibe del sol, la cual puede ser térmica o fotovoltaica, dependiendo si la energía es transformada en calor o electricidad.

La energía solar térmica es la encargada de recoger la energía de los rayos del sol y generar calor a partir de ella para satisfacer necesidades concretas tales como calefacción, agua caliente, refrigeración, etc. El sistema funciona a través de un panel solar que capta los rayos y absorbe su energía en forma de calor, este calor pasa a un fluido que es almacenado o llevado al punto de consumo.

La energía solar fotovoltaica, en cambio, aprovecha la radiación solar para transformarla en electricidad a través de los paneles fotovoltaicos. Este sistema puede ser aislado, encajando así más concretamente en la idea de autoconsumo mencionada anteriormente, o puede estar conectado a una red de distribución eléctrica a la cual se suministraría la electricidad generada por el sistema fotovoltaico instalado.

1.3. Situación en España

En la década de los 80, España tuvo una primera toma de contacto con las energías renovables a través de una ley¹ de fomento de la energía minihidráulica, debido a la crisis del petróleo que se desarrollaba en esa etapa. Fue ya en los años 90 cuando se creó el Plan Energético Nacional (1991-2000), a través del cual se consolidó el concepto de régimen especial en referencia a la producción de estas energías.

Las energías renovables han comenzado a ser impulsadas fuertemente por los gobiernos españoles a partir de finales del siglo XX, hecho que se ha llevado a cabo principalmente a través de la creación del Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010. Este plan incluye dos puntos principales que se pretendían cumplir para el año 2010; uno de ellos, el cual si se cumplió, fue el de cubrir un 30% de la electricidad generada en el país a través de energías renovables (llegó a cubrirse el 35%); el otro punto importante fue el objetivo de cubrir con las energías renovables un 12% del consumo de energía primaria, pero se llegó a cubrir hasta 11'1%.

Hasta comienzos del siglo XXI, y más aún a partir de este, se han ido desarrollando y modificando una serie de decretos² y leyes³ a partir de los cuales ha ido cambiando la normativa sobre las energías renovables en el transcurso de los últimos años, intentando avanzar en paralelo con el desarrollo y la innovación de dichas tecnologías.

Los decretos más destacados en cuanto a la generación de mayor impulso de las energías renovables, más concretamente la solar, son especialmente los de los años 2004 y 2007. Con ellos se creó un marco regulador que impulsó enormemente el desarrollo de las centrales solares fotovoltaicas conectadas a la red, ya que en 2007, el mercado fotovoltaico fue el que más creció a nivel mundial. Entre estos dos decretos se creó el Plan de Energías Renovables 2005-2010, que sustituía al anterior, el cual obtuvo resultados insuficientes.

¹ **Ley 82/1980** de conservación de la energía.

² **Real Decreto 2366/1994** sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas; **Real Decreto 2818/1998** sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración; **Real Decreto-Ley 6/2000** de medidas urgentes de intensificación de la competencia en mercados de bienes y servicios; **Real Decreto 1663/2000** sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión; **Real Decreto 841/2002** por el que se regula, para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial, su incentivación en la participación en el mercado de producción; **Real Decreto 436/2004** por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial; **Real Decreto 314/2006** por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación (CTE); **Real Decreto-Ley 7/2006** por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético; **Real Decreto 661/2007** por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial; **Real Decreto 1578/2008** por el que se modifica el régimen económico de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica; **Real Decreto-Ley 6/2009** con el fin de establecer unos mecanismos respecto al sistema retributivo de las instalaciones de régimen especial; **Real Decreto-Ley 1/2012** por el que se suspenden los incentivos económicos para la instalación de nuevas plantas de energía eléctrica por medio de fuentes renovables, cogeneración y residuos; **Real Decreto-Ley 13/2012**; **Real Decreto-Ley 20/2012**; **Real Decreto-Ley 29/2012** para la eliminación del límite de déficit tarifario; **Real Decreto-Ley 2/2013**; **Real Decreto-Ley 9/2013** por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico; **Real Decreto 413/2014** por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos; **Real Decreto 900/2015** por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

³ **Ley 40/1994** del sistema eléctrico nacional (LOSEN); **Ley 54/1997** del Sector Eléctrico; **Ley 17/2007** por la que se modifica la Ley 54/1997; **Ley 2/2011** de Economía Sostenible; **Ley 15/2012** de medidas fiscales para la sostenibilidad energética; **Ley 24/2013** por la que se establece el régimen retributivo de las instalaciones con derecho a prima.

España es uno de los países europeos con mayor irradiación anual, es decir, posee una mayor cantidad de horas de sol anualmente. Por ello, para completar las medidas del PER de 2005, en 2006 se aprueba el Código Técnico de Edificación (CTE) por el que comienza a ser obligatorio la incorporación de instalaciones solares térmicas y de paneles fotovoltaicos en ciertas edificaciones de nueva construcción.

Finalmente se crea el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (2010-2020), con el que se pretende cumplir con los compromisos europeos en materia de energías renovables, y el cual es sustituido al año siguiente por el PER 2011-2020, por el que se propone que en 2020 las energías renovables representen un 20'8% del consumo final bruto de energía en España.

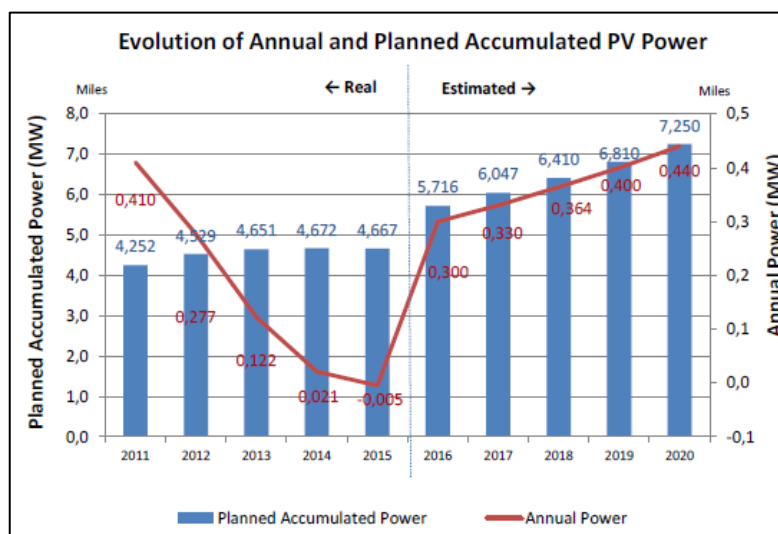


Figura 1. Evolución anual de la potencia fotovoltaica instalada en España comparada con el PER (2011-2020). Fuente: CENER: Centro Nacional de Energías Renovables, Jornada sobre sistemas solares de calor y frío aplicados a la edificación, 2016.

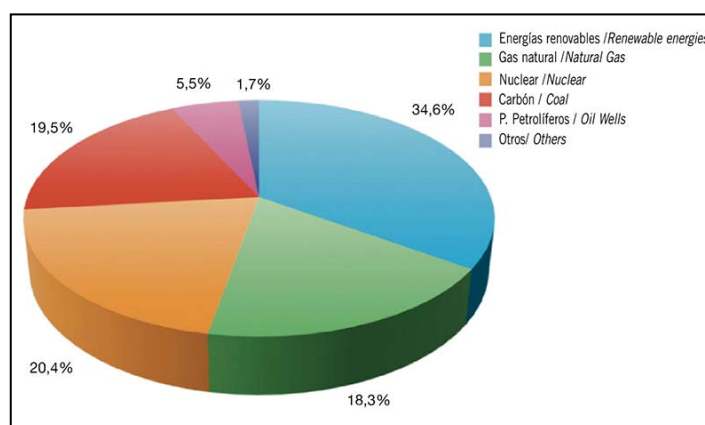


Figura 2. Aportación de cada fuente de energía a la generación bruta de electricidad en España (2015). Fuente: Enrique Soria y Cayetano Hernández, Revista Vértices, 26. (Ciemat, 2016).

Actualmente, según el informe REN 21⁴ de 2015, España se sitúa entre los 20 países líderes en producción de energías renovables de todo el mundo. Durante este año, la producción de energías renovables, con 97.046 kWh, fue la primera de todas, aportando un

⁴ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (Reporte de la situación mundial de las energías Renovables en 2015).

34'6%⁵ a la producción total de energía eléctrica (ver Figura 2), que registró 280.481 millones de kWh⁶.

Aunque este dato no es del todo positivo si se analiza la situación actual centrándose especialmente en la fotovoltaica.

Según el PANER, en 2010 se debería alcanzar una cifra de potencia instalada de 8.367 MW, y una cifra de energía generada de 14.316 GWh. Pero de acuerdo con la estrategia actual este objetivo será prácticamente imposible de conseguir, ya que el informe REE (Red Eléctrica de España, 31 de diciembre de 2015) publica que se tienen instalados 4.667 MW de potencia y se han generado 8.264 GWh de energía, cifras que quedan muy alejadas del objetivo para el 2020.

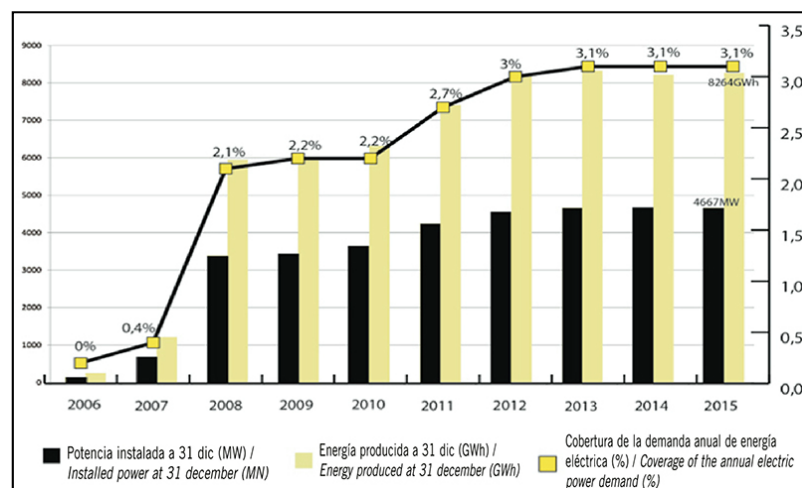


Figura 3. Evolución de la energía fotovoltaica en España (2015). *Fuente: Enrique Soria y Cayetano Hernández, Revista Vértices, 26. (Ciemat, 2016).*

Si se considera el nivel de irradiación que presenta este país y la disminución de los costes de estas tecnologías que se han llevado a cabo en los últimos años, se puede observar que la producción de energía renovable es aún escasa. Se puede considerar una causa importante de este problema la actitud de las grandes empresas eléctricas ante el desarrollo de las energías renovables dentro de la sociedad española. Se podría considerar que las eléctricas están frenando el impulso de las renovables, de alguna forma, amparándose en la ley, la cual es aún insuficiente en lo que al desarrollo de las renovables se refiere. Son estas empresas las encargadas de dar conexión a la red a las instalaciones fotovoltaicas, y por lo tanto, si se les permite poner impedimentos a dichas conexiones, resulta difícil poder desarrollar con normalidad estos sistemas, especialmente en el caso de las instalaciones individuales de autoconsumo.

Por ello, la discusión sigue centrándose en las dos vías de posibilidad de crecimiento de la energía fotovoltaica: el autoconsumo o las grandes centrales.

⁵ Asegurándose de esta forma cumplir con lo estipulado en el PER 2011-2020.

⁶ “Energía eléctrica. Situación de las energías renovables en España a 31 de diciembre de 2015”, Revista Vértices 26, Ciemat.

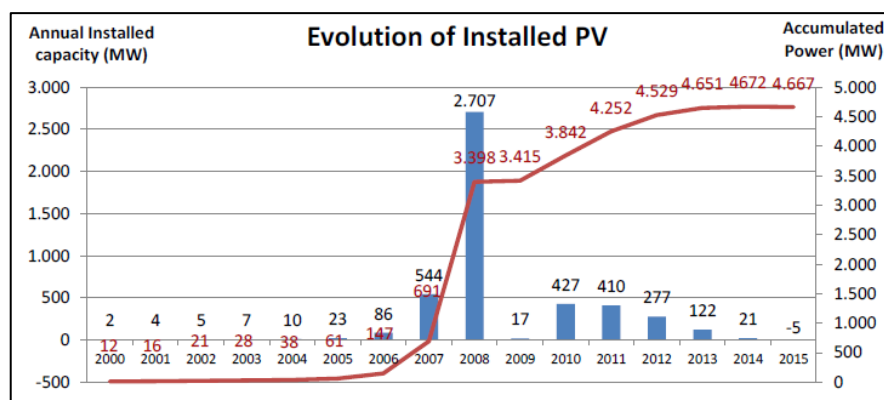


Figura 4. Evolución de la potencia fotovoltaica conectada a red en España. *Fuente: Informe preliminar Red Eléctrica de España para 2015. CENER, Jornada sobre sistemas solares de calor y frío aplicados a la edificación, 2016.*

1.4. Impacto paisajístico y energía urbana: áreas industriales

En referencia a esto último, es importante considerar la accesibilidad que tienen las personas para la instalación de sistemas fotovoltaicos en sus viviendas. Es indudable que España tiene que tener unas políticas acordes con el desarrollo de las energías renovables, pero es también esencial que la población posea una concienciación importante en cuanto a la protección del medio ambiente y de cómo se puede colaborar localmente.

En paralelo al debate del autoconsumo y la concienciación de la población con respecto a este, entra en juego el estudio sobre el impacto paisajístico que generan las plantas solares, cuya presencia en el territorio puede ser considerada incluso como un nuevo uso del suelo, y por lo tanto, se lleva a cabo la búsqueda de una alternativa que disminuya dicho impacto: la energía urbana. El término de energía urbana se refiere al aprovechamiento de los tejados de las edificaciones en tejido urbano para la instalación de placas solares, para sistemas fotovoltaicos y térmicos.

Por ello, se crea un vínculo entre las ideas de concienciar a la población, de incentivar el autoconsumo de energía y del aprovechamiento del tejido urbano para la instalación de estos sistemas. Partiendo de estas tres ideas se puede desarrollar la energía solar, proteger el medio ambiente y reducir el impacto paisajístico del territorio.

Si se analizan las distintas áreas de cualquier tejido urbano de ámbito nacional, se puede observar que la que podría presentar un mayor aprovechamiento del uso de los tejados para la instalación de sistemas solares es el área industrial. Esto es debido, principalmente, a las dimensiones características de estos tejados, ya que las áreas industriales suelen estar compuestas por naves de gran tamaño. También es importante tener en cuenta que se trata de superficies bastante homogéneas si se comparan con los tejados de viviendas, tanto unifamiliares como plurifamiliares, debido a que estos suelen presentar mayor presencia de elementos (áticos, antenas, chimeneas...). Se considera además el entorno que poseen estas áreas, ya que existe menor presencia en general de vegetación y por lo tanto, menos elementos que puedan dar sombra sobre los tejados. En el caso de las zonas residenciales, la presencia de edificios más altos perjudica también a estas instalaciones debido a las sombras que generan sobre los tejados de su alrededor. Esto ocurre en menor medida en las áreas industriales ya que todas las construcciones suelen ser bajas en altura; esto puede ocurrir tal vez en las zonas del polígono más próximas a un área residencial.



Figura 5. Placas solares en una nave industrial de Sevilla. *Fuente: Fotografía Aérea Zepelin.*



Figura 6. Placas solares en vivienda plurifamiliar de Tres Cantos. *Fuente: El Mundo.*

Es importante considerar entonces la adecuación de la instalación de sistemas solares en los polígonos industriales, y generar así una visión para las empresas de concienciación con el medio ambiente debido a la utilización de energías limpias para el desarrollo y producción que se lleven a cabo en estas.

Además de esto, no se puede pasar por alto el hecho de tener en cuenta el interés económico que pueda surgir en esas empresas en cuanto al beneficio que puedan generar a partir del ahorro energético producido por la utilización de esta energía.

1.5. Las TIG aplicadas a estudios de sistemas solares

Antes de tomar la decisión de utilizar energías renovables a través de la implantación de sistemas solares en una edificación, es bastante útil y recomendable solicitar un estudio para evaluar los resultados que proporcionaría la aplicación de esta decisión.

Esta clase de estudios se pueden realizar de muy diversas maneras cuando se trata de analizar una edificación concreta, ya que cuanto menor sea la superficie, más fácilmente se puede evaluar la implantación de estas tecnologías con mayor detalle.

Por otra parte, a propósito de lo mencionado en el apartado anterior, puede darse el caso de que no haya una persona interesada en la implantación de estos sistemas en una edificación, por lo que resultaría de gran interés poder presentar ese estudio de evaluación anticipadamente. Pero sería imposible realizar estudios de todos los edificios de forma individual para informar sobre la evaluación de cada uno de ellos.

La respuesta a esta cuestión se puede dar considerando la realización de dicho estudio tomando como superficie un conjunto de edificios, en lugar de uno solo. De esta forma, la

evaluación se podría hallar de forma más global analizando un pueblo⁷, un barrio, o como en este caso, un polígono industrial, abarcando un área compuesta por diferentes viviendas (en los dos primeros casos) o empresas (en el tercer caso).

Para la realización de este estudio aplicándolo a un área que abarque varios edificios, se ha considerado que las herramientas más apropiadas son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). A través de estas herramientas se pueden analizar los aspectos necesarios para evaluar la implantación de estas tecnologías en espacios más grandes, aunque con algo menos de precisión. El trabajo puede realizarse de manera mecánica con la utilización de un modelo⁸ geográfico que aplique el proceso necesario para la resolución de esta evaluación en diferentes áreas de estudio, y así, minimizar el trabajo y tener la posibilidad de aplicarlo en áreas más grandes.

Como se ha comentado anteriormente, realizar este estudio en un área más grande que abarque un continuo urbano, resulta muy útil para que los propietarios de los edificios analizados consulten los resultados de una posible implantación de sistemas fotovoltaicos o térmicos. Así, con la aplicación de un proceso como este, no solo se podría ofrecer al usuario interesado una primera aproximación de los resultados que obtendría con la implantación de estos sistemas, sino que también se podría mostrar a un usuario no tan convencido o más desinformado, una manera de conocer los beneficios que podría obtener en su vivienda o en su empresa utilizando este tipo de energía renovable.

Además de todo lo mencionado, la utilización de las TIG proporciona una manera de mostrar los resultados de forma que sea más atrayente y a la vez resulte más fácil para la comprensión de cualquier usuario. Los resultados se pueden mostrar visualmente a través de mapas interactivos en los que el usuario pueda consultar los datos que le interesen para conocer los resultados aproximados que obtendría si decidiera instalar las tecnologías que se hayan analizado.

En resumen, es interesante la utilización de las TIG para estudios de potencial fotovoltaico por la serie de datos visuales que puede generar para poder así llegar al alcance de cualquier usuario y de esta forma, incentivar la aproximación de la población a las energías renovables.

⁷ Ver ejemplo en “*Estudio del potencial fotovoltaico en Miraflores de la Sierra mediante TIG. Análisis y publicación de resultados.*” Trabajo de fin de máster de Alberto Berdugo Zamora, 2015. Universidad Complutense de Madrid.

⁸ Ver en “*Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra.*” Trabajo de fin de máster de Ana María Martín Ávila, 2014. Universidad Complutense de Madrid.

2. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal la evaluación, a través de un modelo geográfico existente, del potencial fotovoltaico en un entorno urbano concreto: el área industrial de Coslada.

La aplicación del modelo en un área urbana distinta de las que se han analizado anteriormente lleva a plantearse ciertas cuestiones que resulta interesante analizar. Por ello, este trabajo presenta una serie de objetivos secundarios definidos por esas cuestiones a analizar, que llevan a alcanzar el objetivo principal ya expuesto.

Los objetivos secundarios de este trabajo son los siguientes:

- Extraer unas conclusiones sobre los resultados obtenidos a través del modelo geográfico aplicándolo a un área urbana con características diferentes a otras con las que se ha trabajado anteriormente.
- Realizar un análisis previo de la zona en la que se está desarrollando el proyecto para la empresa Gas Natural por parte del CIEMAT.
- Exponer diferentes formas de mostrar los resultados a un público interesado en el análisis desarrollado, a través de dos tipos de cartografía: una más clásica con mapas impresos, y otra más interactiva expuesta en un visor web a través de la cual el usuario podrá consultar los datos concretos que le interesen.
- Estudiar la importancia de la calidad de los datos y de la gestión de los errores que puedan aparecer en estos, a través de un caso similar al de este proyecto, que muestra los tipos de errores que se pueden dar en cada uno de los datos utilizados. Se trata de un análisis de evaluación fotovoltaica en otra área industrial: el Polígono Industrial El Oliveral, en Valencia.

A través de todos estos objetivos secundarios, y como se ha mencionado anteriormente, se pretende alcanzar el objetivo general de este trabajo, evaluando el polígono industrial de Coslada para simular la implantación de sistemas solares fotovoltaicos.

3. Metodología

El presente documento se encuentra dentro del proyecto gSolarRoof elaborado por el grupo gTIGER en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). Forma parte de la preparación para un proyecto elaborado para la empresa Gas Natural, en el que se pretende realizar una evaluación de potencial fotovoltaico calculando la rentabilidad de estos con los datos de gasto energético de sus clientes. Estos clientes son una serie de empresas situadas en el Polígono Industrial de Coslada, en la Comunidad de Madrid.

Se considera este trabajo una preparación del proyecto mencionado, ya que realiza una evaluación de potencial fotovoltaico del área de estudio que enmarca el Polígono Industrial teniendo en cuenta todas las empresas presentes en él, sin considerar los datos de dichas empresas. Es por ello que este documento desarrolla el análisis necesario previo al estudio solicitado por Gas Natural.

La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo se basa principalmente en el estudio de los trabajos hechos hasta el momento sobre el tema tratado en este proyecto; es decir, los antecedentes de estudios sobre energía solar fotovoltaica, la implantación de estos sistemas en los tejados de las edificaciones, y más concretamente, en áreas industriales, y la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para desarrollar estos procesos.

Se toma un modelo elaborado a partir de SIG, creado en un trabajo previo, para realizar el análisis de evaluación de potencial fotovoltaico, a través del cual se generarán una serie de capas que serán utilizadas para desarrollar una cartografía con la que poder mostrar al usuario los resultados de este estudio.

Dentro de la metodología utilizada, tiene un gran peso el proceso de revisión de los datos. Este proceso consta de la comprobación de toda la información requerida para la ejecución del modelo utilizado, la localización de errores y la edición de estos datos hasta convertirse en los necesarios para poder desarrollar el análisis.

Para el desarrollo de este trabajo ha sido necesaria la utilización de varios software y tecnologías diferentes:

- EndNote: a través del cual se han consultado los trabajos anteriores sobre el tema desarrollado en el presente documento.
- ArcMap: a través del cual se ha ejecutado el modelo y se ha creado un conjunto de cartografía que muestra los resultados. También ha sido utilizado para revisar y editar los datos utilizados.
- ArcGis Online: a través del cual se ha realizado una cartografía interactiva en forma de visor web.
- Internet: a través del cual se ha consultado toda la información necesaria sobre el tema y se han descargado todos los datos requeridos para el proyecto.

4. Antecedentes y estado del arte

Para poder desarrollar este proyecto se han estudiado previamente una serie de artículos y trabajos relacionados con el tema a tratar para conocer de antemano cuáles han sido los desarrollos hasta la fecha en este ámbito.

En primer lugar, la información que ha sido necesario consultar es la que muestra estudios realizados sobre los Sistemas de Información Geográfica aplicados a las energías renovables. Por ello, se toma como referencia el informe *“Los SIG y la integración iberoamericana a partir del uso de las fuentes renovables de energía”*, escrito por **María Rodríguez** (CIPEL), **Antonio Vázquez** (CIPEL), **Javier Domínguez** (CIEMAT), **Ricardo Quijano** (Universidad Nacional de Colombia) y **Ciaddy R. Rodríguez** (CORPOELEC), en 2013. Este informe muestra la revolución de los SIG en cuanto a estudios integrales relacionados con las energías renovables, tanto en su dimensión territorial como social, llevados a cabo a través del desarrollo local de países necesitados de ello, principalmente en el área Iberoamericana.

Se puede ver la relación que existe entre la amplia distribución geográfica de los recursos renovables y la capacidad de los SIG para realizar análisis globales o locales, gestionando así tanto grandes como pequeños territorios.

Se toma también como referencia la tesis de máster de **Stefan Fritz**, *“Aplicación de los SIG al estudio integral de las energías renovables en la comarca de la Sierra de Alcaraz y el Campo de Montiel (Albacete)”*, MSc Planificación Integrada para el Desarrollo Rural y la Gestión del Medio Ambiente, 2012.

De este estudio se extrae la idea de la adecuada utilización de los SIG en la naturaleza distribuida de las energías renovables, ya que a través de estas se determinan los lugares aptos para la instalación de diferentes energías renovables realizando un estudio integral del territorio.

En este trabajo también se puede leer sobre una primera aproximación al tema de los sistemas fotovoltaicos, principalmente basados en la importancia de la radiación solar, y de los diferentes tipos de instalación de módulos que se pueden realizar en base al seguimiento del sol. Respecto a este tema, se expone la conclusión de que los módulos fijos resultan los más convenientes a la hora de elegir un tipo, ya que el coste de estos respecto de su eficiencia resulta más rentable, teniendo en cuenta que los módulos móviles proporcionan mayor eficiencia, pero son bastante más caros. En cuanto a las instalaciones de módulos se tiene también en cuenta el impacto paisajístico y visual que producen, y su ocupación del suelo (en el caso de no instalarlos sobre tejados de viviendas o naves industriales).

A la hora de indagar más en el tema de los sistemas fotovoltaicos y su aplicación sobre tejados, se ha tomado como referencia el trabajo de fin de máster de **Beatriz García Domínguez**: *“Localización óptima de paneles solares en tejados mediante AUV”*, Máster en TIG, UCM, 2014.

A través de este trabajo se recopila más información sobre la energía fotovoltaica, y también sobre los aspectos técnicos de los sistemas fotovoltaicos, como su funcionamiento en una instalación conectada a la red eléctrica o en una instalación aislada. Además de ello, se ha obtenido información sobre las diferentes ventajas que presenta la instalación de estos sistemas en los tejados de viviendas: uso eficiente del espacio, mejora de la imagen y

valor del inmueble, flujo de capital constante, necesidad de evitar la emisión de CO₂ a la atmósfera.

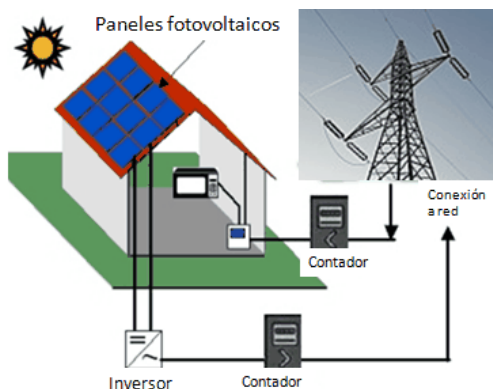


Figura 7: Instalación conectada a la red en una vivienda. Fuente: “*Localización óptima de paneles solares en tejados mediante AUV*”, Beatriz García Domínguez, 2014.

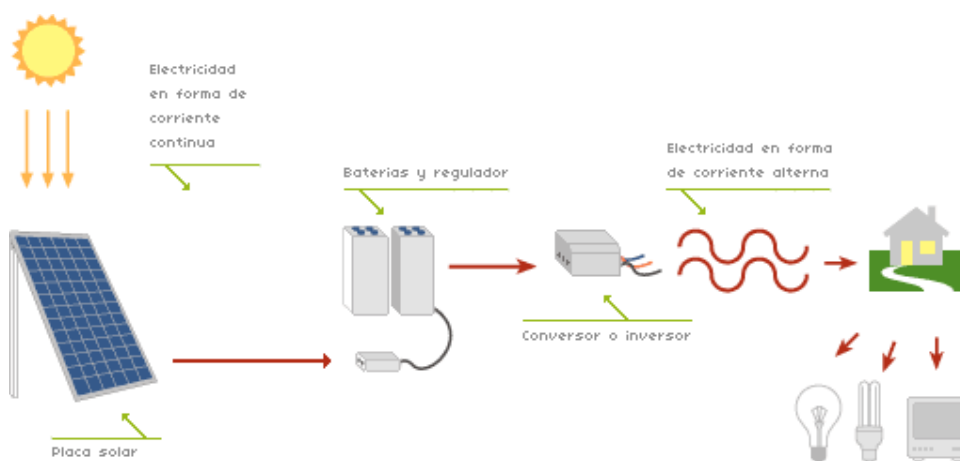


Figura 8: Instalación aislada en una vivienda. Fuente: “*Localización óptima de paneles solares en tejados mediante AUV*”, Beatriz García Domínguez, 2014.

Este trabajo proporciona una primera aproximación en el tema de la utilización de los SIG para la instalación de sistemas fotovoltaicos en los tejados, hallando la superficie útil de estos. De esta forma, se puede observar qué tipo de datos son necesarios para el análisis realizado y que metodología se lleva a cabo para desarrollar dicho análisis, siendo los primeros una nube de puntos, una ortofoto y una capa de las parcelas catastrales, y la segunda, un análisis multicriterio, basado en las pendientes, la orientación, las sombras, la radiación y los obstáculos en los tejados.

Para profundizar más en el estudio de la instalación de sistemas fotovoltaicos en los tejados y su análisis a través de herramientas SIG, se ha consultado el trabajo de fin de máster de **Ana María Martín Ávila**, “*Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra*”, UCM, 2014, del cual se toma el modelo geográfico elaborado para desarrollar el presente proyecto.

De este trabajo se puede extraer más información que completaría a la anterior, concretando cada vez más en el tema que se va a tratar en este proyecto. Los datos

necesarios para la ejecución del modelo son: una nube de puntos LIDAR⁹, una tabla de datos sobre la posición del sol, la capa de las parcelas catastrales y ortofotografías. Por este motivo, aparece una mayor aproximación a este tipo de datos, conociendo más a fondo la tecnología de datos LIDAR y las características de la radiación solar, tan importante en este análisis. También se extraen conocimientos sobre la potencia instalada de los sistemas fotovoltaicos y la energía generada por estos.

Por otra parte, este trabajo proporciona conocimientos sobre los diferentes tipos de células fotovoltaicas que se pueden instalar, y cual genera mejores resultados una vez ejecutado el modelo.

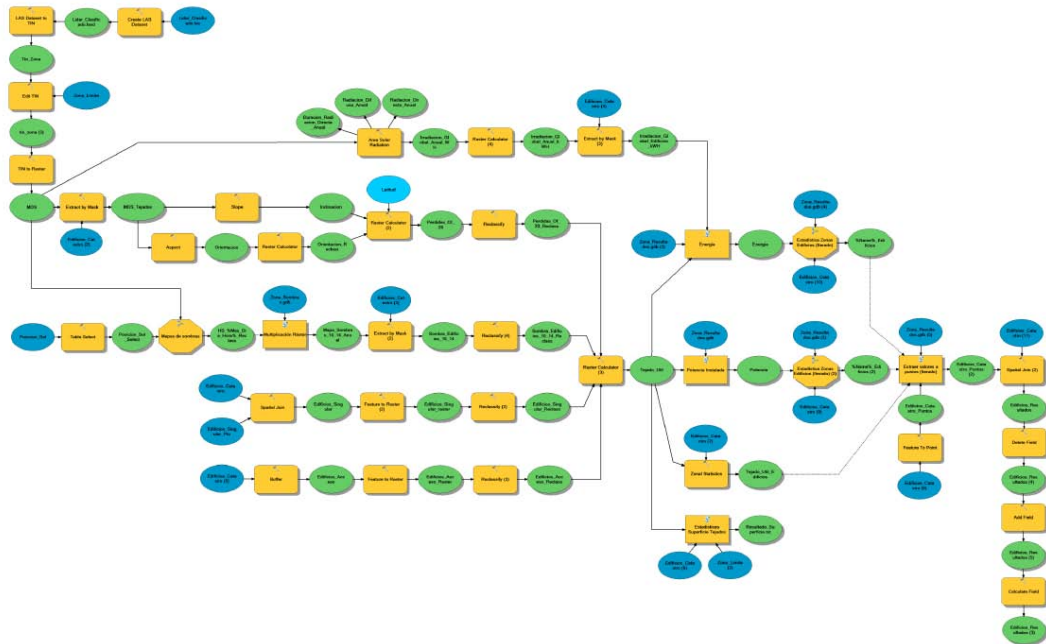


Figura 9: Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Fuente: “Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra”, Ana María Martín Ávila, UCM, 2014.

Para este proyecto, ha sido importante consultar estudios previos sobre la aplicación de sistemas fotovoltaicos en tejados, pero más concretamente, en los de áreas industriales. Para ello, es importante también partir de una base de la situación española en cuanto al desarrollo e instalación de estos sistemas.

Estos asuntos fueron tratados en unas jornadas desarrolladas en CIEMAT en mayo de 2016, en las cuales se presentaron diferentes conferencias sobre los sistemas solares, tanto térmicos como fotovoltaicos, aplicados a la edificación. Es el caso de la conferencia “Actividades AIE-PVPS¹⁰: Aplicaciones Fotovoltaicas en la Edificación”, presentada por la **Dra. Ana Rosa Lagunas Alonso**, Directora del Departamento de Energía Solar Fotovoltaica del Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), en la que se exponen las características de la energía fotovoltaica junto a los beneficios de su instalación. También se presenta la situación actual española en cuanto a la energía solar fotovoltaica, afirmando que la potencia instalada conectada a la red eléctrica presenta un pico en 2008, a partir del cual comienza a decaer. También se afirma que, en relación a la cobertura de la

⁹ Acrónimo del inglés: “Light Detection and Ranging” o “Laser Imaging Detection and Ranging” (Detección por Luz y Distancia).

¹⁰ Agencia Internacional de la Energía-Photovoltaic Power System.

demanda eléctrica, la fotovoltaica crece a partir de 2010. Por otra parte, se expone la idea de la contribución, por parte de esta energía, para conseguir que un edificio sea energéticamente autosuficiente, siendo estos sistemas añadidos al edificio, por ejemplo, al tejado, o integrados a través de un elemento constructivo.

Por lo tanto, entra en juego el concepto de “Smart Cities”, junto con otros relacionados como “Open Innovation”, “Smart Energy”, “Smart Buildings”, “Big Data”, presentes todos ellos en la conferencia “*Smart Cities: una visión desde la industria. La participación española en la AIE y Smart Cities.*”, del Director de Innovación Tecnológica de Acciona Infraestructuras, **Ignacio Calvo Herrera**. En ella se presenta la idea de las “Smart Cities”¹¹ cómo método para sobrellevar el continuo aumento de la población en las ciudades. Este concepto incluye el aumento y la mejora de las infraestructuras, unos servicios más eficientes, la utilización de energías más limpias y una disminución de la contaminación, lo que se engloba en ciudades más eficientes y sostenibles.

En esta presentación se explican una serie de proyectos que la empresa lleva a cabo dentro del desarrollo de Smart Cities, muchos de ellos relacionados con la implementación de energías renovables. Es el caso del diseño y construcción de un sistema de autoconsumo en el edificio sede de ACCIONA Service (Barcelona), en el cual se integra un sistema híbrido aislado para la producción, almacenamiento, gestión y uso de energía eléctrica en dicho edificio. Este sistema se compone de 76 unidades de módulos fotovoltaicos con una potencia pico instalada de 25'46 kWp y una capacidad de almacenamiento de 100 kWh con el objetivo de cubrir una demanda máxima de 60 kWh/día.

Continuando con el tema de las Smart Cities, es interesante conocer otra de las conferencias presentadas en las jornadas, “*Smart Cities y la EERA*”¹². *La Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética.*”, expuesta por **José Antonio Ferrer**, Coordinador PTE-EE de CIEMAT.

Las principales áreas de trabajo que presenta este proyecto son: la planificación energética urbana integrada; el diseño y la operación de las redes energéticas urbanas; edificios energéticamente eficientes como elementos interactivos del sistema urbano; poligeneración renovable integrada en la red urbana. Dentro de estas áreas de trabajo se encuentran incluidas unas prioritarias en cuanto al desarrollo tecnológico, que a su vez incluyen: eficiencia energética en servicios y procesos industriales; eficiencia energética en edificios; eficiencia en sistemas de refrigeración y calefacción en ciudades; eficiencia energética en el transporte.

A través de estos objetivos se pretenden desarrollar las Smart Cities y al mismo tiempo, centrarlas más en el ciudadano. Este desarrollo incluye también a la industria, ya que la idea es crear una mayor interacción entre las áreas industriales y la ciudad, que normalmente se encuentran separadas, y las primeras incluso aisladas. De esta forma se deja de considerar al área industrial como un espacio sucio y apartado, tomando como paso principal para la inclusión en la ciudad, la utilización de fuentes de energía más limpias y eficientes.

¹¹ “Es aquella que incorpora tecnologías innovadoras, procesos y servicios que garantizan su sostenibilidad energética, medioambiental, económica y social, apoyada en los ciudadanos y mejorando su calidad de vida, generación de empleo y actividad económica.” *La visión de ACCIONA*.

¹² EERA: European Energy Research Alliance (Alianza Europea de Investigación en Energía).

Como último apunte sobre las jornadas mencionadas, en la conferencia “*International Energy Agency. Energy in Buildings and Communities Research Programme*”, presentada por **José María Campos Domínguez**, IEA EBC Executive Committee Member, Spain, se expuso, entre otras cosas, un proyecto piloto de desarrollo de un mapa energético de la ciudad de Dubái, utilizando una herramienta de software GIS para la monitorización de consumos energéticos y de agua. Con esta exposición se puede comprobar la diversidad de proyectos que se están desarrollando utilizando los SIG en estudios de energías y consumo.

Para este proyecto ha sido necesario indagar sobre aspectos más técnicos de la instalación de sistemas fotovoltaicos en tejados, especialmente en áreas industriales, y por tanto, de las peculiaridades que estos pueden presentar. Por tanto, se extraen algunas ideas del artículo “*Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy)*”, escrito por **Luca Bergamasco** y **Pietro Asinari** en 2011. En este artículo se analizan las diferencias que pueden existir entre los tejados de los edificios residenciales y los tejados de las naves industriales de una región italiana.

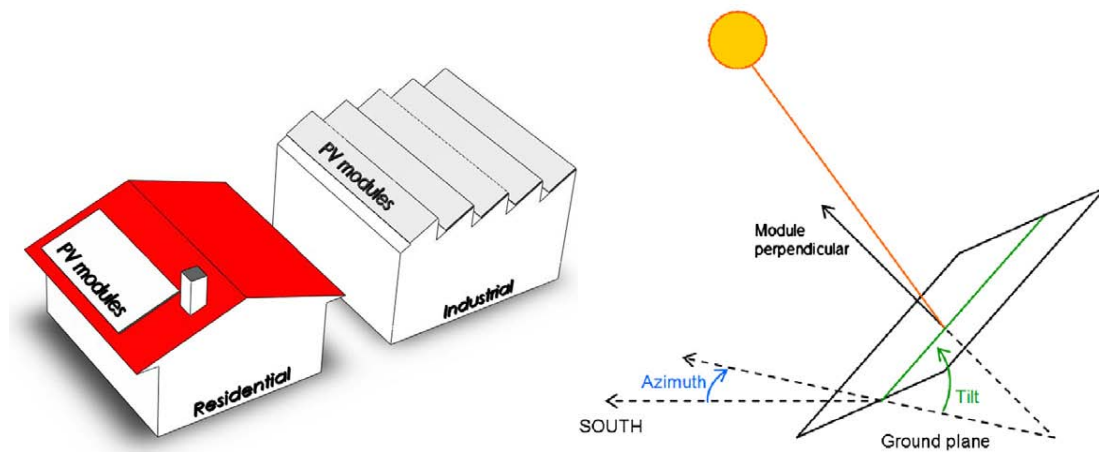


Figura 10: Ejemplo esquemático de los tipos de tejados representativos en edificios residenciales e industriales en Piamonte con la integración de las instalaciones fotovoltaicas en la zona óptima del tejado. Definición del ángulo de inclinación y el acimut para la aplicación fotovoltaica. Fuente: “*Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy)*”, Luca Bergamasco y Pietro Asinari, *Science Direct, Solar Energy* 85(2011), 1041-1055.

Según estas diferencias se aplican una serie de coeficientes a tener en cuenta a la hora de calcular la superficie útil del tejado. Uno de esos coeficientes depende de la inclinación del tejado, por lo que es importante conocer la tipología de este. En este caso se considera que la tipología más común en cuanto a los tejados de edificios residenciales es la de dos aguas, mientras que la más común en los de los edificios industriales es la de varias aguas (como se puede apreciar en la Figura 10). Debido a la orientación solar, en el tejado residencial solo se utilizaría como superficie útil una de las dos aguas, mientras que en el tejado industrial se puede utilizar mucha más superficie. Por lo tanto, se deduce la conclusión de que se genera mayor rentabilidad en el caso de instalar sistemas fotovoltaicos en edificios industriales frente a la instalación en edificios residenciales.

Si se siguen analizando aspectos técnicos para este proyecto, es importarse detenerse en la información sobre el tipo de módulo fotovoltaico que sería más adecuado instalar en los tejados de áreas industriales, que son con las que se va a trabajar en el presente estudio. Para ello se ha consultado información de interés en el proyecto de fin de carrera de **María**

Araceli Gutiérrez Bernal, “*Aplicación de la energía fotovoltaica de capa fina en empresas del sector logístico*”, presentado en 2014, y en el cual se analiza la eficacia de la instalación de sistemas fotovoltaicos en dos polígonos industriales de Cataluña utilizando la tecnología de capa delgada o lonas fotovoltaicas¹³.

Este tipo de tecnología es óptima para los tejados en áreas industriales debido a una serie de características propias que la definen: son ligeras y no necesitan una estructura propia, si no que se adaptan a la del tejado, por lo que no son tan pesadas; se puede aprovechar el tejado en lugar de ocupar otro espacio aparte; no supone cambios en la actividad del edificio; se convierte la cubierta de la nave en una rentable planta de producción de electricidad; el impacto visual de las redes de transporte de energía es menor, y el estético es nulo; la conexión eléctrica es más sencilla y económica; además, las lonas proporcionan un aislamiento térmico adicional al edificio; aporta un alto grado de modernidad e innovación, junto a la concienciación por parte de la empresa hacia el medio ambiente; los trámites de implantación sobre cubiertas son más ágiles con respecto a otros.

Otro aspecto a tener en cuenta en la elección de esta tecnología como la más adecuada para la instalación de sistemas fotovoltaicos en naves industriales, es el hecho de que su composición carece de vidrio, y esto hace que el mantenimiento resulte mucho más económico.

Una vez consultada toda la información expuesta en el presente documento, aparece la cuestión de cuál sería la forma más adecuada de presentar los resultados obtenidos en el trabajo, ya que se genera con ellos una serie de elementos cartográficos que pueden ser poco intuitivos si no se analizan en conjunto. Se han recogido una serie de ideas de algunos documentos que muestran la eficacia de la representación cartográfica a través de un visor web. De esta forma, no sólo será más fácil de entender, si no que presentará una mayor accesibilidad de la información para el usuario que esté interesado en el proyecto.

Algunas de estas ideas se han tomado del proyecto de fin de carrera de **Laura Alemany Gómez y Edurne Castell Marcos**, “*SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco*”, presentado en 2013, y en el cual se crea una aplicación SIG con la que se analizan los lugares óptimos para la localización de sistemas solares y eólicos, y un visor web en el que se exponen estos resultados, además de otros como los datos de electricidad aproximada que se generarían en los tejados de los edificios de Vitoria.

La creación de este visor tiene la finalidad de llegar al ciudadano interesado por el cuidado del medio ambiente, para que así pueda encontrar una consulta sobre la aproximación de la energía de la que dispondría si estuviera interesado en instalar paneles solares en su vivienda. Por otra parte, tiene el objetivo de llegar también a los empresarios interesados en localizar parques eólicos o solares en los lugares óptimos para ello.

En el trabajo de fin de máster “*Estudio del potencial fotovoltaico en Miraflores de la Sierra mediante TIG. Análisis y publicación de resultados*”, escrito por **Alberto Berdugo Zamora** en 2015, se pueden encontrar más información sobre la publicación de resultados cartográficos a partir de un visor web, y más concretamente de la plataforma que se ha utilizado en este proyecto: ArcGis Online de ESRI (plataforma que permite a usuarios y

¹³ “La tecnología de capa fina funciona colocando un semiconductor de silicón que absorbe la luz encima de un sustrato de vidrio. El peso liviano y el diseño flexible del módulo permiten diferentes usos para esta tecnología”, Clean Energy Associates.

organizaciones crear, compartir, alojar y visualizar datos geográficos; también posibilita la creación de aplicaciones y visores que proporcionen un acceso cómodo y eficaz a la información).

La principal ventaja de la publicación de resultados cartográficos en un software de este tipo es la accesibilidad del usuario a los resultados sin tener conocimientos previos sobre el manejo de los SIG, y el acceso a estos sin un software específico, tan solo con la conexión a internet.

Actualmente, se sigue innovando en estos temas y realizando estudios a través del proyecto **gSolarRoof** (*Characterization and implementation of a GIS for improvement the integration of PV panels in urban areas*), desarrollado por **gTIGER** (*Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica y Energías Renovables*) en **CIEMAT** (*Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*), el cual se encuentra dirigido por el Dr. Javier Domínguez Bravo, y dentro del cual se enmarca el presente proyecto.

Algunos de los estudios que se están realizando a través de este grupo en la actualidad son los siguientes:

- ✓ El presente proyecto, que ejecuta el modelo geográfico para la evaluación del potencial fotovoltaico en entornos urbanos en el Polígono Industrial de Coslada, con su correspondiente análisis y resultados cartográficos.
- ✓ La ejecución también en un polígono de Valencia, junto con el de Coslada, como proyecto dirigido a la empresa Gas Natural en el cual se realiza un análisis de los resultados y de rentabilidad de estos para sus clientes.
- ✓ La ejecución del modelo en otro tipo de áreas urbanas como algunos municipios de la Comunidad de Madrid y barrios de Madrid.
- ✓ El análisis de tejados de edificios concretos del municipio de Miraflores de la Sierra a través del software PVSyst, para representar más detalladamente el resultado final de la supuesta instalación de distintos tipos de módulos fotovoltaicos.
- ✓ El estudio de la superficie útil de los tejados en un área urbana para la instalación de sistemas solares térmicos.
- ✓ Todas las modificaciones pertinentes en el modelo geográfico que han sido necesarias para desarrollar los análisis anteriormente descritos, además de otras mejoras para que dicho modelo ofrezca resultados cada vez más precisos.

5. Descripción del área de estudio: Polígono Industrial de Coslada

El presente trabajo se desarrolla sobre el área de estudio que enmarca la zona industrial del municipio madrileño de Coslada, situada al Norte de este.

El municipio se encuentra en la primera corona de la periferia al Este de la Comunidad de Madrid, limitando, casi en su totalidad, ya que se encuentra prácticamente rodeado por este, con el municipio de Madrid, más concretamente con los distritos de San Blas (en el Noroeste) y Vicálvaro (en el Sur), y por el Este, con el municipio de San Fernando de Henares, con el que posee una continuidad urbana.

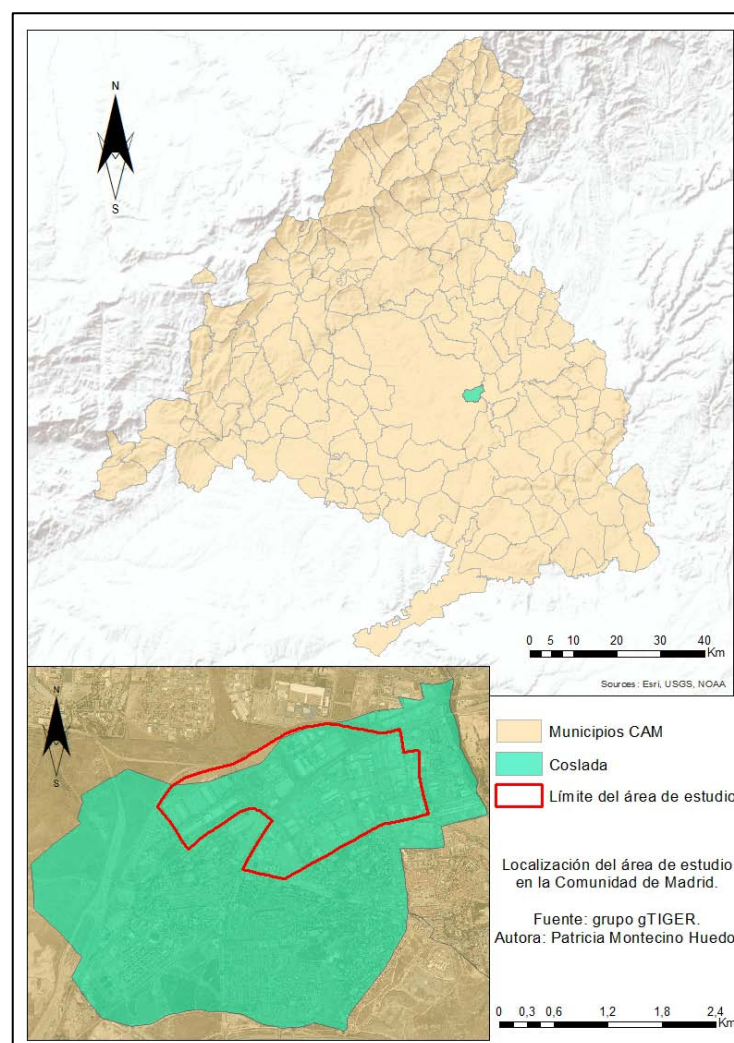


Figura 11: Mapa de localización del área de estudio: Polígono Industrial del municipio de Coslada en la Comunidad de Madrid. Fuente: *Mapa ESRI. Ortofotografía PNOA. CAM. Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Elaboración propia.*

Coslada presenta una altitud de 621 msnm y se encuentra situada en el interior del Valle del Henares, en su unión con la Cuenca del Jarama. Además, posee una pequeña parte que se encuentra incluida en el Parque Regional del Sureste.

Según la clasificación de Köppen, el clima que presenta esta zona es de tipo Csa, es decir, mediterráneo continentalizado. Los datos climáticos más completos que se recogen para el municipio de Coslada se toman de referencia de la estación meteorológica más cercana, que es la situada en el Aeropuerto de Madrid – Barajas, a través de la cual se consultan datos de temperatura, precipitación, humedad, horas de sol o nubosidad entre otros.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	20.9	22.6	26.4	31.1	36.4	39.8	42.2	41.2	40.2	31.5	24.7	20.0	42.2
Temp. máx. media (°C)	10.7	13.0	17.0	18.7	23.1	29.5	33.5	32.8	27.9	21.0	14.8	10.9	21.1
Temp. media (°C)	5.5	7.1	10.2	12.2	16.2	21.7	25.2	24.7	20.5	14.8	9.4	6.2	14.5
Temp. mín. media (°C)	0.2	1.2	3.5	5.7	9.3	13.9	16.8	16.5	13.1	8.7	4.1	1.4	7.9
Temp. mín. abs. (°C)	-10.4	-10.0	-6.6	-3.2	-0.5	5.0	7.0	8.2	4.0	-1.0	-7.4	-10.5	-10.5
Precipitación total (mm)	28.7	31.9	21.5	37.7	43.9	21.7	8.8	9.5	24.1	51.3	49.3	42.3	370.8
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	5.2	4.7	3.5	6.4	6.8	3.6	1.5	1.5	2.9	6.6	6.2	6.3	55.1
Días de nevadas (≥)	0.7	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.6
Horas de sol	144.1	168.1	224.0	225.7	258.0	310.2	354.4	329.1	257.8	198.7	151.1	127.7	2748.9
Humedad relativa (%)	74	67	58	56	52	42	35	37	48	63	72	76	57

Figura 12: Parámetros climáticos promedio del Observatorio Aeropuerto de Madrid – Barajas (609 msnm) Período de referencia: 1981-2010. Fuente: *Agencia Estatal de Meteorología, 2016*.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Horas de sol al día	4.65	5.95	7.23	7.52	8.32	10.34	11.43	10.62	8.59	6.41	5.04	4.12	7.53
Nº de días despejados	7.9	6.5	7.8	5.0	5.2	8.9	16.8	13.5	8.0	6.1	6.8	6.4	98.3
Nº de días nubosos	15.0	15.5	17.9	18.2	19.9	18.5	13.6	16.8	19.5	18.4	15.8	15.2	205.2
Nº de días cubiertos	8.0	6.3	5.3	6.8	5.9	2.6	0.7	0.7	2.4	6.5	7.4	9.3	61.8
Nº de días de niebla	4.1	2.0	0.6	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.4	1.0	2.3	5.6	16.8

Figura 13: Parámetros climáticos de sol y nubosidad del Observatorio Aeropuerto de Madrid – Barajas (609 msnm) Período de referencia: 1981-2010. Fuente: *Agencia Estatal de Meteorología, 2016*.

Es importante para este trabajo observar los parámetros climáticos relativos a las horas de sol y a los niveles de nubosidad que presentan este municipio, ya que estos proporcionarán una primera aproximación que se completará más tarde con el análisis de la radiación solar incidente en el área de estudio.

Coslada es un municipio que abarca una extensión de 11'7 kilómetros cuadrados y en el que habitan unas 90.000 personas. La mayor parte del municipio se encuentra urbanizada, destacando en la parte sur el desarrollo de la ciudad residencial a partir del casco histórico, y en la parte norte la presencia del área industrial. Junto al área industrial, en la parte oeste del municipio, se desarrolla el complejo ferroviario que complementa los desarrollos en referencia a la industria del transporte presentes en esa zona.

Aparecen algunas zonas en el oeste y en el sur con presencia de vegetación, y en el este una pequeña zona de cultivos junto al paso del río, y una parte destinada a extracción minera debido a la presencia en este territorio de yeso y pedernal.

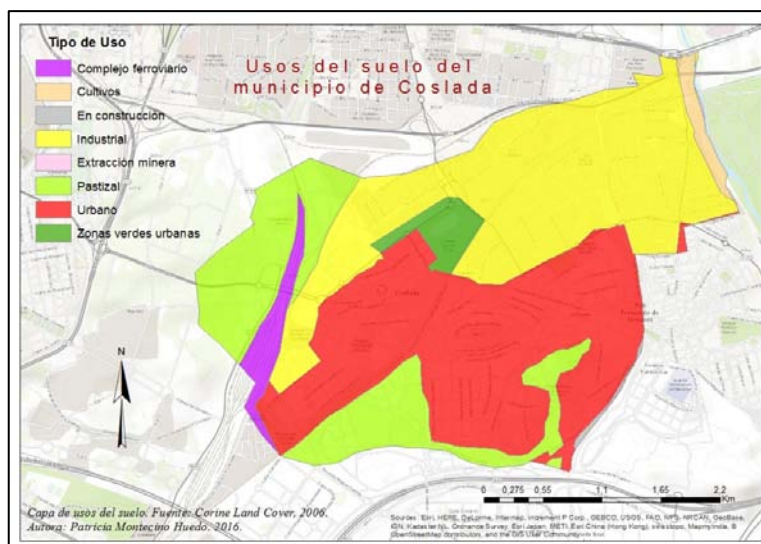


Figura 14: Mapa de usos del suelo del municipio de Coslada. Fuente: *Mapa topográfico de ESRI. Corine Land Cover, 2006. Elaboración propia, 2016.*

En cuanto a su estructura urbana, Coslada está marcada por la disposición de las infraestructuras y de la importante área industrial presente en el norte del municipio, próxima a la Nacional II. Es por ello que este municipio forma parte del conocido como Corredor del Henares, junto a otros como San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares o Guadalajara.

El Corredor del Henares forma un eje que engloba ciudades industrializadas como es el caso de Coslada. Se desarrolla en la vega del río Henares, tanto de forma residencial como industrial y empresarial.



Figura 15: Izquierda: Municipios pertenecientes al Corredor del Henares. Derecha: Imagen del Centro Integral de Transportes de Coslada. Fuente: *Federación de Industria de USO Madrid, 2014. Teleprensa, periódico digital de Henares, 2014.*

Este eje se caracteriza por formar un continuo de polígonos industriales y empresariales desarrollados en torno a los principales ejes de comunicación, constituyendo además una

zona de gran importancia económica por su ubicación estratégica en el este del área Metropolitana de Madrid.

Se puede considerar que el comienzo de este eje por la zona más próxima al municipio de Madrid, es el área industrial de Coslada. Este área engloba varios polígonos industriales destinados a diferentes desarrollos: el Centro Integral de Transportes de Coslada, el Polígono Industrial La Estación, el Polígono Industrial Avenida de España, el Polígono Industrial de Coslada y el Polígono Industrial de Logística.

En este trabajo se tienen en cuenta todos ellos excepto el Polígono Industrial Avenida de España, y una parte del Polígono Industrial La Estación.

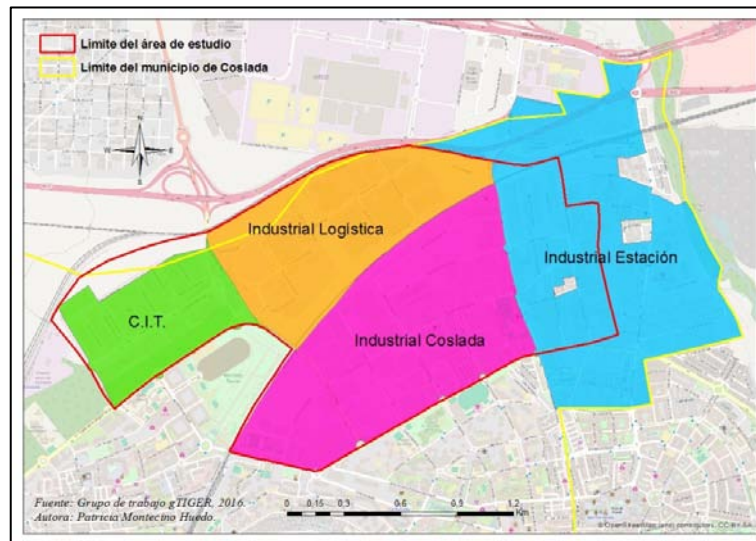


Figura 16: Mapa de polígonos de Coslada. Fuente: *Open Street Maps. Nomenclatures. Elaboración propia, 2016.*

El Centro Integral de Transportes de Coslada es más conocido como el Puerto Seco de Madrid. “*Un Puerto Seco es una terminal intermodal de mercancías situada en el interior de un país o región económica que conecta, a través de la red ferroviaria, con el puerto marítimo de origen o destino de los tráficos tratados. El Puerto Seco de Madrid es una plataforma intermodal, pues combina el transporte ferroviario, el marítimo y el transporte por carretera.*” Puerto Seco de Madrid.



Figura 17: Imagen del Puerto Seco de Coslada. Fuente: *Cadena de Suministro. Elaboración propia, 2016.*

6. Preparación de los datos y análisis de los errores

6.1. Datos requeridos para el proyecto

Para la realización de este proyecto hay que partir de la recopilación de una serie de datos a través de los cuales se irá desarrollando todo el trabajo. Estos constan de un número de capas y tablas que serán descritas a continuación, tanto su composición y tipología, como de dónde se han extraído y los procesos de edición que se han tenido que realizar para que sean aptas para el comienzo del desarrollo en este trabajo.

En primer lugar, es necesaria la obtención de una ortofoto de la zona de estudio, ya que será conveniente trabajar sobre ella durante toda la preparación de los datos, y también para visualizar los resultados. Este material se obtendrá del PNOA¹⁴, a través de una búsqueda por municipio para escoger la ortofoto que muestre por completo el área de estudio de este trabajo. Por lo tanto, se selecciona el municipio de Coslada, para obtener la ortofoto en la que se encuentra representado el polígono a estudiar.

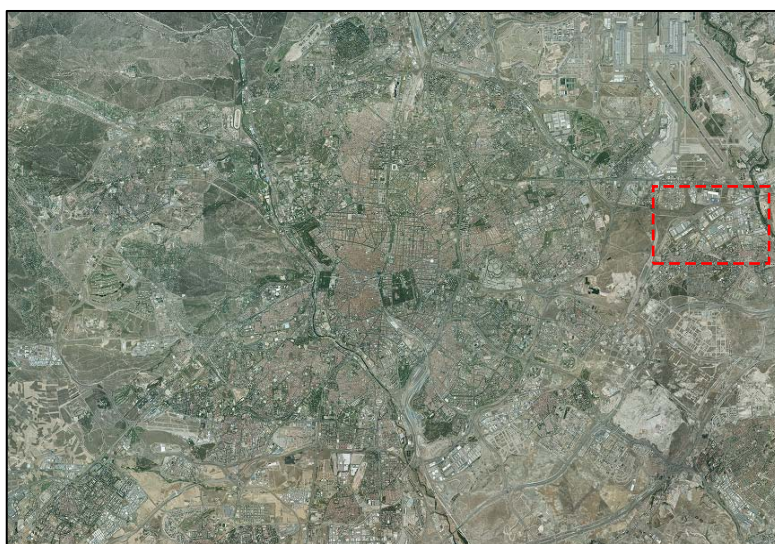


Figura 18: Imagen del PNOA del municipio de Coslada: PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0559. Mosaico comprimido por hojas MTN50. Fuente: *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (Instituto Geográfico Nacional), PNOA Máxima Actualidad, 2014.*
(Recuadro rojo: polígono de Coslada en el que se encuentra el área de estudio. Figura 19).

Una vez localizada la zona en la que se va a trabajar en la ortofotografía, se puede utilizar esta como base para la recopilación y edición del resto de las capas, antes de crear el límite del área de estudio.

¹⁴ Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, enmarcado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), coordinado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).



Figura 19: Imagen del PNOA de la zona del Polígono Industrial de Coslada en el que se encuentra el área de estudio. Fuente: *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (Instituto Geográfico Nacional), PNOA Máxima Actualidad, 2014.*

Una de las capas indispensables para la ejecución del modelo geográfico es una nube de puntos LIDAR. Esta tecnología “*utiliza puntos de luz láser para muestrear la superficie terrestre. Al realizarse un barrido del terreno, determina la altura y forma de cualquier elemento sobre el suelo como árboles, edificios, infraestructuras e incluso vehículos*”, Ana María Martín Ávila (2014).



Figura 20: LAS Dataset compuesto por seis ficheros LAS que abarcan el área de estudio del polígono de Coslada. Por su dimensión no es posible visualizar los puntos sin aplicar zoom. Fuente: *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (Instituto Geográfico Nacional), LIDAR, 2010. Visualización en ArcMap.*

Estas capas de nubes de puntos se descargan también a través de la página web del IGN. Se trata de una serie de ficheros LAZ¹⁵ de 2x2 kilómetros del año 2010. Como en el caso anterior, se realiza la búsqueda por municipio para seleccionar las capas que abarquen el área de estudio. Para poder realizar esta selección de una manera más rápida y eficaz, se puede hacer la búsqueda a través del visor, y así seleccionar directamente el área de estudio del trabajo.

El resultado son seis ficheros LIDAR que será necesario transformar a ficheros LAS¹⁶ para comenzar a trabajar con ellos para poder incluir los datos necesarios en el modelo. Para poder trabajar con estas capas en ArcMap, es necesario crear un archivo LAS Dataset formado por las 6 capas que componen el área de estudio.

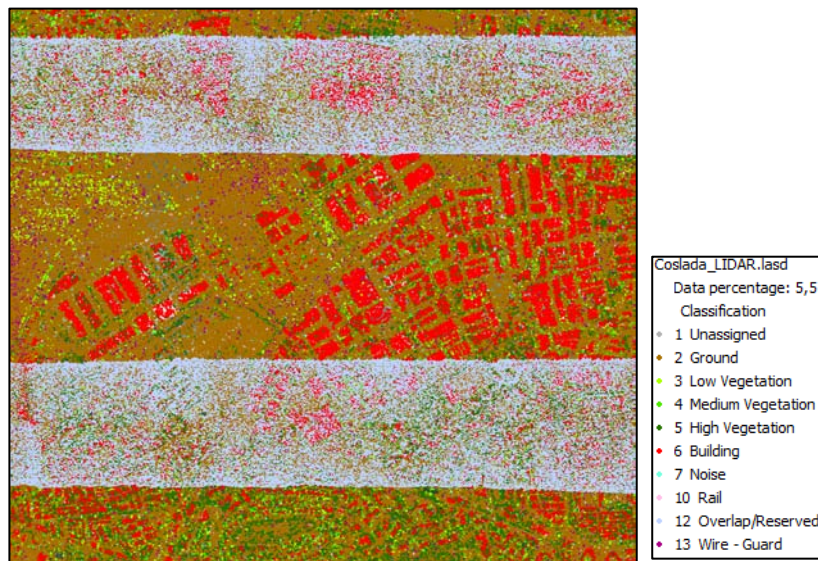


Figura 21: Zoom del LAS Dataset de la Figura 20 sobre el área de estudio. Leyenda de la nube de puntos. Fuente: *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (IGN), LIDAR, 2010. Visualización en ArcMap.*

Para poder delimitar el área de estudio de este trabajo, ha sido necesaria la utilización de dos capas base. Una de ellas es la que representa los sectores de toda la Comunidad de Madrid, incluyendo los polígonos industriales.

La otra, es una capa proporcionada por la empresa Gas Natural, en la que aparece un polígono dentro del cual se encuentran los clientes con los que van a trabajar en este proyecto.

Por lo tanto, en el proceso de edición de los datos, se utilizarán estas dos capas vectoriales como base para digitalizar el diseño del polígono que muestre el límite del área de estudio de este trabajo.

¹⁵ “El formato LAZ es un tipo de archivo binario obtenido de la compresión de los ficheros LAS mediante una librería de compresión desarrollada para la herramienta LASzip.” (MappingGIS).

¹⁶ “El formato LAS es un formato de archivo público que permite el intercambio de ficheros que contienen información de una nube de puntos tridimensional.” (MappingGIS).

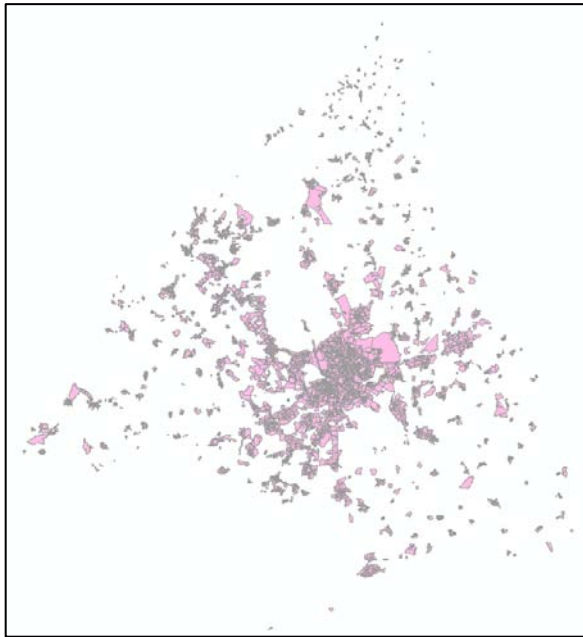


Figura 22: Sectores de la CAM (incluidos polígonos industriales). Fuente: *Centro de Descargas Nomecalles, Instituto de Estadística, Comunidad de Madrid, 2015.* Visualización en ArcMap.



Figura 23: Delimitación provisional del área de estudio. Fuente: *Gas Natural, 2016.* Visualización en ArcMap.

Es necesario también incluir en el modelo una delimitación de los edificios para tener conocimiento de las dimensiones de los tejados. Esta información viene dada en la capa de las parcelas catastrales, que se obtiene a través de la Sede Electrónica del Catastro.

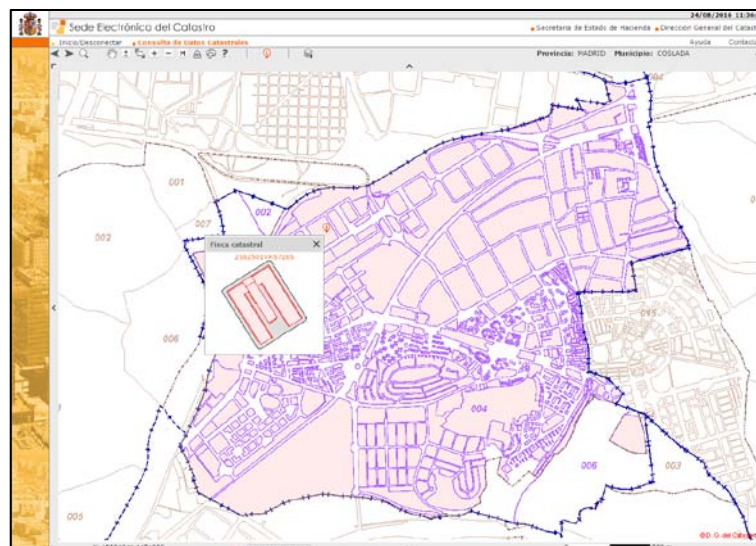


Figura 24: Parcelas catastrales del municipio de Coslada. Fuente: *Sede Electrónica del Catastro, Secretaría de Estado de Hacienda, Dirección General del Catastro, 2016.*



Figura 25: Parcelas catastrales del municipio de Coslada, delimitación de las construcciones.
Fuente: *Sede Electrónica del Catastro, Secretaría de Estado de Hacienda, Dirección General del Catastro, 2016. Visualización en ArcMap.*

Una vez descargada la información del catastro, se trabajará con la capa vectorial de polígonos que representa la delimitación de las construcciones dentro de cada parcela. Esta capa deberá pasar por un proceso de edición para conservar solamente las construcciones en las que se puedan instalar paneles sobre el tejado.

Para ejecutar el modelo se necesitan una serie de datos sobre la radiación solar que se da en la zona de estudio. Para ello, se extrae una tabla con los datos específicos de la posición del sol para cada hora y cada día del año a través de la página web de SoDa (Solar Radiation Data).

La tabla generada presenta una serie de datos que serán editados previamente a su inserción en el modelo geográfico.



Figura 26: Página web con información sobre la radiación solar en Coslada. Fuente: *SoDa (Solar Radiation Data), Web Service, Astronomy, Solar Geometry 2. 2016.*

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	# Solar Geometry 2									
2	# Fast and accurate Solar Position Algorithm									
3	# MINES ParisTech / ARMINES									
4	# The research leading to these results of the ENDORSE project that has received funding from the European Union's Seventh Framework									
5	#									
6	# JDUT: universal julian date (day)									
7	# YYYY: year									
8	# MM: month of the year									
9	# DD: day of the month									
10	# HH: hour of the day (decimal hour)									
11	# DOY: day of the year									
12	# DELTA: topocentric declination (radian)									
13	# OMEGA: topocentric hour angle (radian)									
14	# GAMMA_50: topocentric Sun elevation angle without refraction correction (radian)									
15	# ALPHA_5: topocentric Sun azimuth angle Eastward from North (radian)									
16	#									
17	# Latitude: 46 longitude: -3.549400									
# JDUT	YYYY	MM	DD	H	DOY	DELTA	OMEGA	GAMMA_50	ALPHA_5	
19	2457023.5	2015	1	1	0	1	-0.40214581	80547.2182	-1.26053842	6.05265337
20	2457023.54	2015	1	1	1	1	-0.40208899	80547.4799	-1.2291216	0.53219945
21	2457023.58	2015	1	1	2	1	-0.4020328	80547.7416	-1.08704179	1.02792822
22	2457023.63	2015	1	1	3	1	-0.40197715	80548.0033	-0.90319305	1.51749884
23	2457023.67	2015	1	1	4	1	-0.40192192	80548.265	-0.70647296	1.51921816
24	2457023.71	2015	1	1	5	1	-0.40186696	80548.5267	-0.50758045	1.68512061
25	2457023.75	2015	1	1	6	1	-0.40181204	80548.7884	-0.3121046	1.83899029
26	2457023.79	2015	1	1	7.0001	1	-0.40175696	80549.0501	-0.12488433	1.99413877
27	2457023.83	2015	1	1	8.0001	1	-0.40170149	80549.3119	0.04925866	2.1607452
28	2457023.88	2015	1	1	9.0001	1	-0.40164541	80549.5736	0.20383072	2.34705239
29	2457023.92	2015	1	1	10.0001	1	-0.40158854	80549.8353	0.33054444	2.53954159
30	2457023.96	2015	1	1	11.0001	1	-0.40153072	80550.097	0.41952613	2.80020551
31	2457024	2015	1	1	12.0001	1	-0.40147185	80550.3587	0.46127882	3.06250988

Figura 27: Tabla con los datos sobre inclinación del sol en la zona de estudio. Fuente: *SoDa (Solar Radiation Data), Web Service, Astronomy, Solar Geometry 2. 2016. Visualización en Excel.*

A través del servicio web PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), se puede obtener una tabla con una serie de datos que aportan información sobre la radiación solar del área de estudio. Anteriormente se utilizaban estos datos para contrastarlos con los resultados obtenidos por el modelo geográfico y comprobar así su precisión; pero con las mejoras añadidas al modelo se utilizan estos datos en cálculos que antes no se hacían, los cuales aportan una mayor precisión a los resultados sobre la radiación solar.

Monthly Solar Irradiation											
PVGIS Estimates of long-term monthly averages											
Location: 40°26'13" North, 3°33'23" West, Elevation: 600 m a.s.l.											
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF											
Optimal inclination angle is: 35 degrees											
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %											
Month	H_h	H_{opt}	H_{90}	DNI	I_{pot}	T_L	DG	T_p	T_{2m}	N_{HD}	
Jan	2040	3500	3560	3230	64	3.3	0.43	6.6	4.5	342	
Feb	3100	4720	4270	4370	56	3.5	0.37	8.3	5.9	273	
Mar	4660	5920	4400	5250	44	3.2	0.39	11.9	9.6	184	
Apr	5560	6040	3430	5590	27	3.6	0.37	14.2	12.1	131	
May	6640	6440	2830	6550	15	3.7	0.34	18.8	16.8	15	
Jun	7630	7010	2560	7940	7	4.2	0.28	24.9	23.0	7	
Jul	8020	7540	2780	9270	11	4.1	0.21	27.6	25.8	0	
Aug	6940	7290	3590	8000	23	4.5	0.24	27.4	25.4	0	
Sep	5320	6500	4370	6520	39	4.2	0.28	23.1	20.9	26	
Oct	3700	5280	4460	4830	52	4.2	0.36	16.9	14.6	136	
Nov	2340	3940	3870	3590	61	3.9	0.41	11.1	8.7	319	
Dec	1890	3440	3630	3210	66	3.3	0.43	7.1	5.1	359	
Year	4830	5640	3640	5700	35	3.8	0.31	16.5	14.4	1786	
H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m ² /day)											
H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m ² /day)											
H_{90} : Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m ² /day)											
DNI : Direct normal irradiation (Wh/m ² /day)											
I_{pot} : Optimal inclination (deg.)											
T_L : Linde turbidity (-)											
DG : Ratio of diffuse to global irradiation (-)											
T_p : Average daytime temperature (°C)											
T_{2m} : 24 hour average of temperature (°C)											
N_{HD} : Number of heating degree-days (-)											
PVGIS © European Communities, 2001-2012											
Reproduction is authorized, provided the source is acknowledged											

Figura 28: Tabla con los datos sobre radiación solar mensual. Fuente: *PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), 2016.*

6.2. Proceso de edición de los datos

Los datos obtenidos para el proyecto en muy pocos casos se encuentran directamente preparados para elaborar el análisis en el que se vayan a integrar. Es por ello, que estos datos necesitan pasar por un proceso de revisión, y en la mayoría de los casos, de edición

para que sean lo más precisos posible y así poder evitar una gran cantidad de errores en los resultados.

Es importante definir antes de nada el límite del área de estudio para que resulte más fácil la revisión y edición del resto de las capas. Como se ha comentado en el apartado anterior, el límite del área de estudio se define a partir de la capa de sectores de la Comunidad de Madrid, y de un área orientativa proporcionada por la empresa Gas Natural.

En la Figura 29 se puede apreciar cómo estas dos capas no coinciden entre sí, y además, que la capa de sectores de la CAM no coincide a su vez con la ortofoto. Observando las propiedades de dicha capa se extrae la información de que la proyección cartográfica es diferente al resto de las capas (ED50 en lugar de ETRS89).

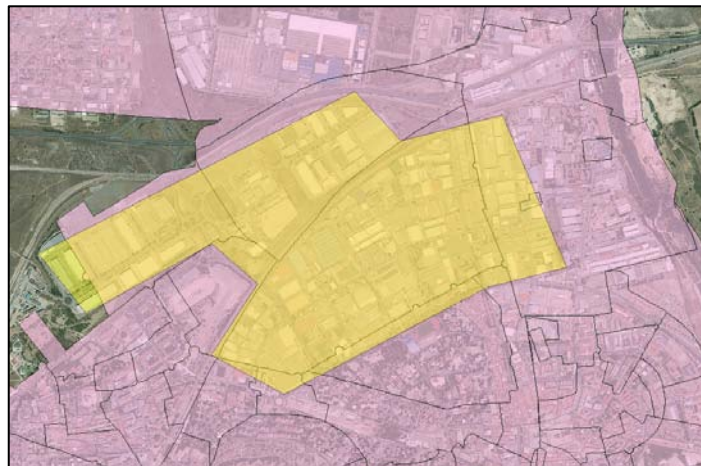


Figura 29: Capas de referencia para diseñar el límite del área de estudio. Fuente: *Nomecalles y Gas Natural, 2016. Visualización en ArcMap.*

Una vez ajustada la proyección cartográfica, se seleccionan los sectores con los que se va a trabajar, es decir, los que representan al polígono de Coslada y a su vez coinciden con el área diseñada por Gas Natural.

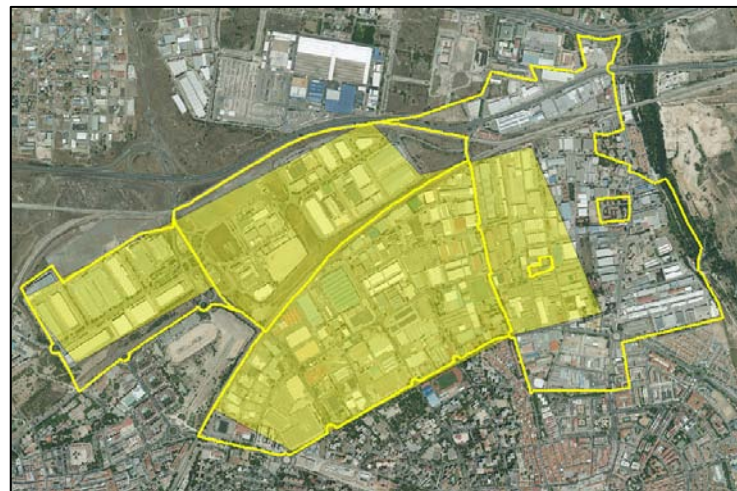


Figura 30: Capas de referencia editadas para diseñar el límite del área de estudio. Fuente: *Nomecalles y Gas Natural, 2016. Visualización en ArcMap.*

Para definir el límite del área de estudio se digitaliza un nuevo polígono siguiendo los límites de las dos capas que se utilizan como guía. Este nuevo polígono se utilizará durante todo el proyecto como el área de estudio.



Figura 31: Límite del área de estudio. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

Editando la capa de las parcelas catastrales se extraerán las delimitaciones de los edificios presentes dentro del área del estudio, a través de la delimitación diseñada anteriormente. Esta edición se realizará principalmente a través del campo de la tabla de atributos que indica el tipo de construcción de cada polígono (ej.: suelo, patio, soportal, porche...).

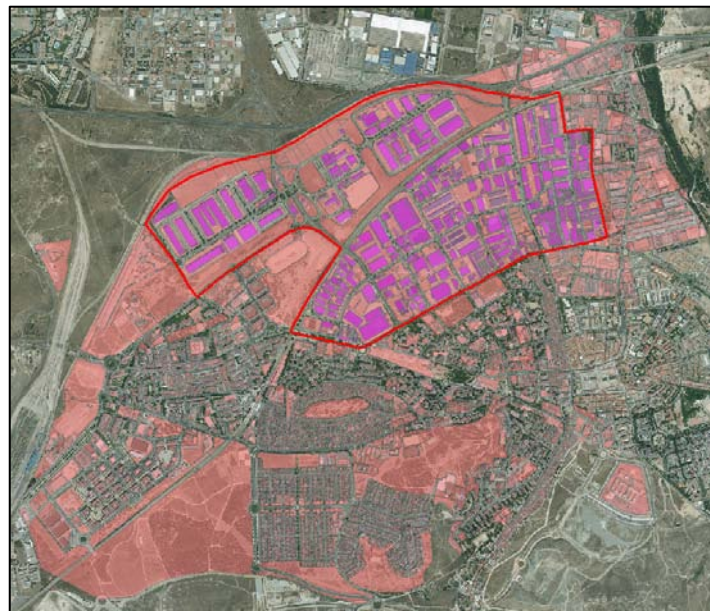


Figura 32: Parcelas catastrales de Coslada y edificios del polígono industrial. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

Según se va avanzando en la edición de los polígonos que delimitan los edificios, se van descartando algunos, como los residenciales, ya que este trabajo se centra solo en las empresas presentes en el área industrial.

Para ello se hace una revisión de manera visual de los polígonos sobre la ortofoto.



Figura 33: Parcelas catastrales y naves industriales del polígono de Coslada. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

Además de ello, se eliminan también todos los polígonos que representen construcciones en las que no se pueden implantar sistemas fotovoltaicos en su tejado, bien porque carece de él (ej.: patios) o bien porque no es una superficie resistente para ello (ej.: porche).



Figura 34: Delimitación de los tejados de las naves industriales del polígono de Coslada. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

En cuanto a la capa de nube de puntos LIDAR, la edición consiste en clasificar los puntos de forma que queden los grupos bien definidos y desaparezcan los errores, para que,

utilizando el límite del área de estudio, el modelo pueda crear una capa TIN¹⁷ de dicha área a partir de la nube de puntos.

Para esta edición se ha utilizado el software Mars LIDAR y las herramientas LasTools en ArcGis. Es muy útil, además, la vista de perfiles en 3D de la nube de puntos para identificar más fácilmente los puntos que hay que cambiar de clase o eliminar.

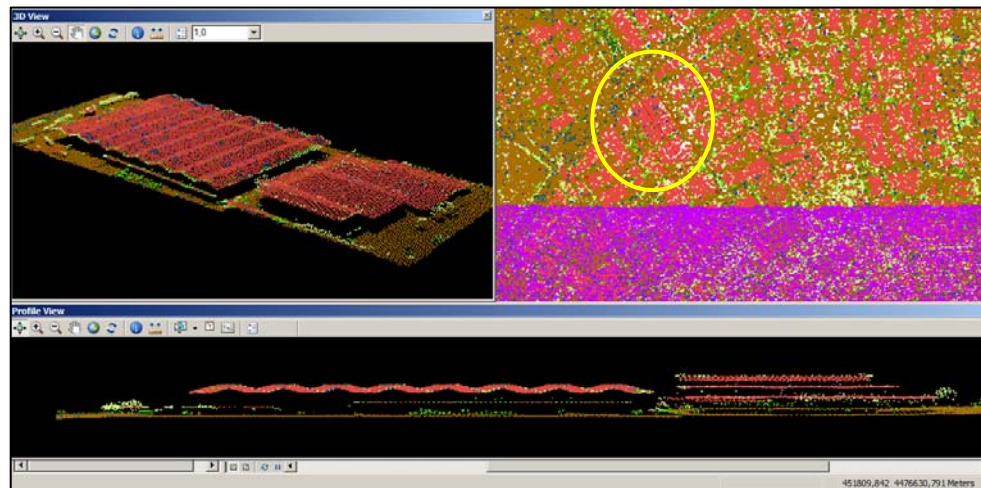


Figura 35: Nube de puntos LIDAR sin corregir. Perfil de dos naves industriales, en 2D y 3D.
Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

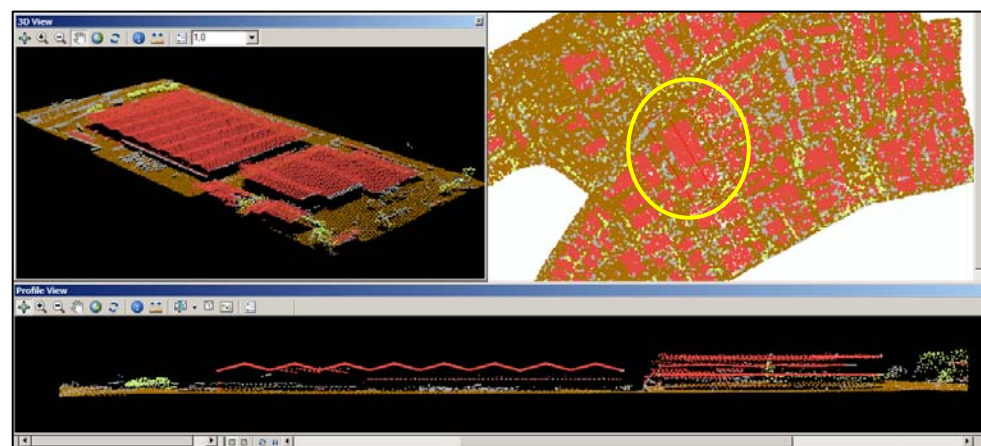


Figura 36: Nube de puntos LIDAR corregida. Perfil de dos naves industriales, en 2D y 3D. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

Como se ha explicado anteriormente, una vez corregida la nube de puntos, y utilizando como máscara el límite del área de estudio, el modelo se encargará de crear una capa TIN que será la que se utilice para generar un modelo digital de elevación de la superficie.

¹⁷ Triangulated Irregular Network (redes irregulares de triángulos): es una superficie de elevación que representa valores de altura en una extensión. (ArcGis).



Figura 37: Capa de triangulación (TIN) y leyenda. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016.*
Visualización en ArcMap.

La tabla con los datos de posición del sol se edita para conservar solo la información que interesa para incluir directamente en el modelo. Se conservan los campos “GAMMA” y “ALPHA”, que son los que representan la elevación y el azimut respectivamente.

Además de ello, las cifras de elevación y azimut vienen dadas en radianes, por lo que hay que transformarlos a grados para poder trabajar con ellos en el modelo geográfico.

OBJECTID	MES	DIA	AÑO	HORA	DIA	AÑO	ELEVACION_grados	ACIMUT_grados
22	1	1	2015	21	1		-45,13179	277,42874
23	1	1	2015	22	1		-56,19735	290,56741
24	1	1	2015	23	1		-66,04105	310,94984
25	1	2	2015	0	2		-72,12282	346,50379
26	1	2	2015	1	2		-70,39269	30,10401
27	1	2	2015	2	2		-62,29906	58,60964
28	1	2	2015	3	2		-51,78379	75,27528
29	1	2	2015	4	2		-40,518	86,67606
30	1	2	2015	5	2		-29,12114	96,40286
31	1	2	2015	6	2		-17,92025	105,22382
32	1	2	2015	7	2		-7,17944	114,12196
33	1	2	2015	8	2		2,81136	123,66681
34	1	2	2015	9	2		11,68501	134,33827
35	1	2	2015	10	2		18,96679	146,51089
36	1	2	2015	11	2		24,09006	160,30333
37	1	2	2015	12	2		26,50805	175,34771
38	1	2	2015	13	2		25,90471	190,73034
39	1	2	2015	14	2		22,36293	205,36365
40	1	2	2015	15	2		16,31721	218,5307
41	1	2	2015	16	2		8,34327	230,08056
42	1	2	2015	17	2		-1,02155	240,25944
43	1	2	2015	18	2		-11,34647	249,49443
44	1	2	2015	19	2		-22,29952	258,29653
45	1	2	2015	20	2		-33,60766	267,29718
46	1	2	2015	21	2		-44,99524	277,44679
47	1	2	2015	22	2		-56,06007	290,57217
48	1	2	2015	23	2		-65,90602	310,88642
49	1	3	2015	0	3		-72,01453	346,22782
50	1	3	2015	1	3		-70,35371	29,71049
51	1	3	2015	2	3		-62,30843	58,31347
52	1	3	2015	3	3		-51,81255	75,05681

Figura 38: Tabla de datos de posición del sol. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016.*
Visualización en ArcMap.

6.3. Análisis de los errores en los datos

6.3.1. La importancia de la calidad de los datos en un SIG

Dentro del tema de los datos que se necesitan para desarrollar un análisis, es interesante detenerse en la importancia de la calidad de dichos datos.

“Todo dato espacial contiene algún tipo de error, en mayor o menor medida”, Víctor Olaya, 2014.

A menudo se cree que al descargar información (en este caso, capas) de una fuente fiable, esta no contiene errores y es totalmente fiable. No siempre es así. La mayoría de los datos necesitan pasar por un proceso de revisión y depuración en el que se localicen y corrijan diferentes tipos de errores.

Es importante que la corrección de los errores se realice en los datos iniciales antes de comenzar con cualquier tipo de análisis que derive en otros datos, ya que si aquellos no han sido revisados, es muy probable que estos se creen con errores.

Por ello, en este caso, se van a analizar los *“errores en las fuentes primarias”*¹⁸, para así evitar que las capas que se vayan creando en el proceso de análisis contengan errores.

Según el Doctor Atkinson (2005), existen diferentes índices de calidad de los datos en función de qué componentes se analicen: espacial, temporal o temático.

Con la aparición de los SIG ha aumentado la consideración de la calidad de los datos espaciales debido al elevado volumen de estos presentes en el ámbito geográfico. Por ello, en este apartado se evalúa la calidad de los datos respecto al espacio y los errores que estos pueden presentar.

6.3.2. Detección y gestión de los errores en el estudio sobre el Polígono Industrial El Oliveral en Valencia

Para ejemplificar lo comentado en este proyecto sobre la calidad de los datos y los errores espaciales en la cartografía, se ha utilizado como caso de estudio el Polígono Industrial El Oliveral, localizado en Valencia, ya que presenta un mayor número de errores en las capas base utilizadas en su análisis y se convierte en un ejemplo más claro para explicar este problema.

El análisis de este polígono industrial se engloba dentro del proyecto en el que se está trabajando en CIEMAT para la empresa Gas Natural, al igual que lo contenido en el presente trabajo.

En primer lugar, es importante conocer la fiabilidad de las fuentes de las que se extraen las capas utilizadas para el análisis. Para evaluar la fiabilidad de estas fuentes resulta muy útil la acción de contrastar información de varias de estas.

Es el caso de la imagen que se utiliza como base para editar el resto de las capas. En principio se trabaja sobre la ortofotografía del PNOA, pero para añadir mayor rigor a los datos, se contrasta la información de esta con el mapa base “Imagery” de ESRI, y además, también con los mapas de Google.

Si se compara la imagen del PNOA con el mapa de ESRI, se pueden apreciar ciertas diferencias en algunas de las naves industriales. Como se ve en la Figura 30, en el mapa de ESRI se observa una nave que ocupa mayor dimensión que en la ortofotografía del PNOA. Esto se debe a la diferencia en la temporalidad. La imagen del PNOA es más actual que el mapa de ESRI, y por ello presenta este tipo de diferencias.

¹⁸ *“El dato vectorial del que disponemos proviene originariamente de una fuente primaria, la cual puede contener errores. Si esta fuente contiene errores, estos aparecerán también en los datos que se deriven de este.”* Víctor Olaya, 2014.



Figura 39: A la izquierda de la imagen el mapa “Imagery” de ESRI y a la derecha la ortofotografía del PNOA. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

Es conveniente seguir contrastando esta información para decidir cuál será la que se utilice finalmente. Para ello, se consultan las imágenes de Google Maps, las cuales son más actuales incluso que las del PNOA, por lo tanto, se aprecia que concuerdan más con lo que aparece en estas.



Figura 40: Imagen de una zona del polígono industrial del Oliveral. Fuente: *Google Maps, 2016.*

Por último, se contrasta toda esta información con la capa de nube de puntos LIDAR. Esta información no es tan actual así que no coincide con la imagen del PNOA ni con Google Maps. En general, sería más interesante seleccionar los datos más actuales ya que serán más útiles en los resultados, pero las diferencias encontradas entre los diferentes datos que se van a utilizar en el análisis, hacen que sea más indicado elegir otro tipo de solución, que será conservar la información aportada por la capa de nube de puntos de LIDAR.

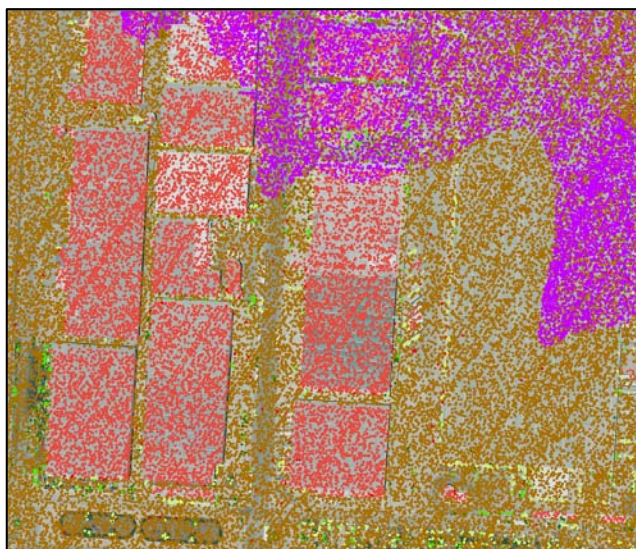


Figura 41: Nube de puntos LIDAR sin clasificar de una zona del polígono industrial del Oliveral.
Fuente: IGN, 2009. Visualización en ArcMap.

A continuación se muestra otro ejemplo con el que queda más clara la elección de la capa de nube de puntos como datos base para el resto de las capas, y con el que se podrá observar también la importancia y la dificultad de la gestión de los errores en este tipo de capas.



Figura 42: A la izquierda, ortofotografía del PNOA de una zona del polígono industrial del Oliveral. A la derecha, mapa “Imagery” de ESRI. Fuente: IGN, 2014 y ESRI. Visualización en ArcMap.

Si se observan las imágenes del PNOA, de ESRI y de Google, presentes en las Figuras 42 y 43, se puede apreciar a simple vista que no presentan diferencias relevantes entre ellas.



Figura 43: Imagen de una zona del polígono industrial del Oliveral. Fuente: *Google Maps, 2016*.

En cambio, si se observa después la capa de nube de puntos LIDAR que se muestra en la Figura 44, y se compara con estas, se pueden ver una serie de diferencias bastante importantes para el análisis posterior.

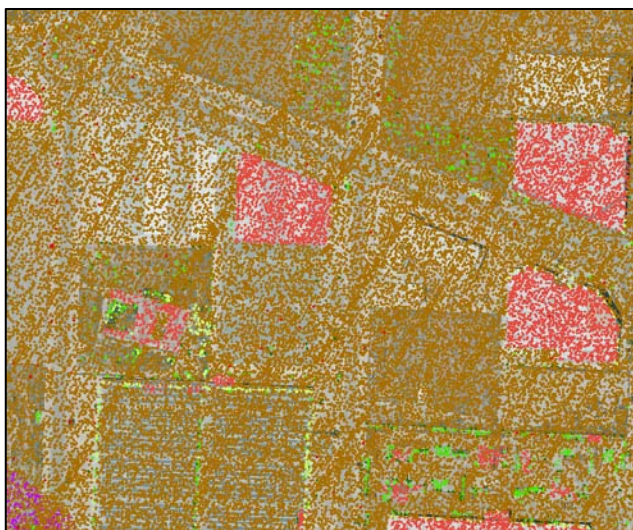


Figura 44: Capa de nube de puntos LIDAR de una zona del polígono industrial del Oliveral. Fuente: *IGN, 2009. Visualización en ArcMap*.

En este caso ocurre lo contrario que en el anterior. En los datos más actuales aparecen una serie de naves que no estaban anteriormente y por lo tanto no están recogidas en la información de la nube de puntos.

En el caso de querer tomar la referencia de los datos más actualizados, esto se convierte en un gran inconveniente, ya que puede resultar muy compleja la edición de la nube de puntos cambiando todos los valores que pasarían a formar parte de las naves edificadas posteriormente. Se trataría de un trabajo con mucha precisión en el cual habría que seleccionar solo los puntos que forman parte de la edificación y definir el límite de esta con

la mayor aproximación posible, y además, atribuir a los puntos un valor de elevación que al fin y al cabo no dejaría de ser una estimación. Realizando este tipo de edición en la nube de puntos se puede generar una gran cantidad de errores que se verán reflejados en el análisis y por lo tanto, alterarán los resultados de este.

Es por ello por lo que finalmente se decide para este proyecto (el cual incluye también el polígono de Coslada, con el que se está trabajando en el presente documento) tomar como referencia los datos proporcionados por LIDAR a través de la capa de nube de puntos elaborados en 2009 y 2010, para el polígono de Valencia y el de Coslada, respectivamente. Se considera más importante conservar la fiabilidad y precisión de los datos, aunque estos muestren una realidad menos actualizada.

En relación a esto, cabe destacar que la edición de la nube de puntos se basa en modificar la clasificación de algunos de ellos para que corresponda con la realidad¹⁹, y borrar los errores que se encuentren de tipo “outliers”²⁰. Este tipo de errores resulta muy visible una vez elaborada la capa de triangulación si se observa esta en 3D.

Otro tipo de errores son los encontrados en la capa de catastro. Una vez editada conservando solo las construcciones, se comprueba algunos de los polígonos que las representan no concuerdan con la imagen del PNOA, es decir, presentan un desplazamiento más o menos pronunciado dependiendo del caso (como se aprecia en la Figura 45).



Figura 45: Capa de catastro parcialmente editada de una zona del polígono industrial del Oliveral sobre la ortofotografía del PNOA. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER. Visualización en ArcMap.*

Si se compara además esta capa con la nube de puntos, se comprueba de nuevo la desviación presente en los mismos polígonos, por lo que se trata de un problema de la capa del catastro. En primer lugar se considera que el problema pueda derivarse de un error en

¹⁹ Por ejemplo, todos los puntos que formen parte de los tejados de las naves y estén incluidos en otras clases como “ruido”, se clasificarán como construcción.

²⁰ **Valores atípicos o extremos:** son aquellos que se encuentran dentro de un conjunto de valores pero que sobresalen del resto de forma considerada, destacando muy por encima o muy por debajo de la media del resto; quedando patente así que se trata de un error, especialmente cuando los valores tratados son de elevación.

la proyección cartográfica, es decir, que presente una proyección diferente al resto de las capas, ya que este caso produce la desviación que se está observando.

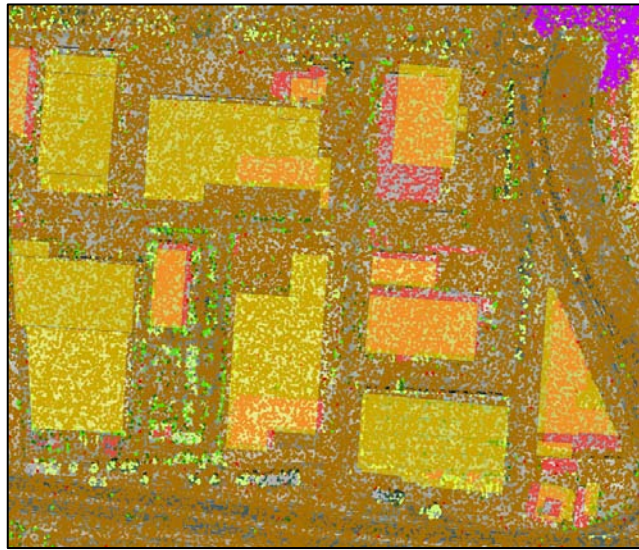


Figura 46: Capa de catastro parcialmente editada de una zona del polígono industrial del Oliveral sobre la capa de nube de puntos. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER. Visualización en ArcMap.*

La posibilidad de un error en la proyección cartográfica se descarta cuando se comprueba que en otras zonas de esta área los polígonos coinciden perfectamente con las construcciones (ver Figura 47), hecho que no ocurriría en el caso de que las capas presentaran diferente proyección.



Figura 47: Capas de catastro parcialmente editada y editada completamente de una zona del polígono industrial del Oliveral sobre la ortofotografía del PNOA. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER. Visualización en ArcMap.*

Se asume que la desviación de los polígonos es un error que viene dado desde el proceso de digitalización de esta capa, en el que puede que para algunas de las construcciones si se

haya utilizado una proyección diferente y se haya producido esta diferencia posicional tan dispar.

Para subsanar estos errores se editan los polígonos manualmente utilizando como capa base la nube de puntos LIDAR, que como se ha explicado anteriormente, es la que se escoge como guía para la edición del resto.

Finalmente, se pueden dar otro tipo de errores que no vengan definidos en una capa obtenida de una fuente fiable, como se ha dado en los casos anteriores, si no que se produzcan los errores en el propio proceso de digitalización de una nueva capa.

Es lo que ocurre en la creación de la capa con el límite del área de estudio. Se parte de la base de una capa con un polígono creada por la empresa Gas Natural, que sirve como guía para el diseño del límite, ya que esta capa resulta más orientativa que precisa.

Pero para que la edición del límite no se haga sin una base fiable, se utiliza la capa del SIOSE que muestra los usos del suelo del municipio de Riba-roja de Túria (lugar en el que se encuentra el polígono industrial al que se refiere este apartado), en el año 2011.

Utilizando estas dos capas como orientación para definir el límite del área de estudio, y siempre con la base de la imagen del PNOA, se puede digitalizar un polígono que contenga la menor cantidad de errores posibles (por ejemplo, que una nave quede cortada a la mitad por el límite diseñado), y a la vez que se ciña lo máximo posible al área propuesta por la empresa que ha solicitado este estudio (ver Figura 48).

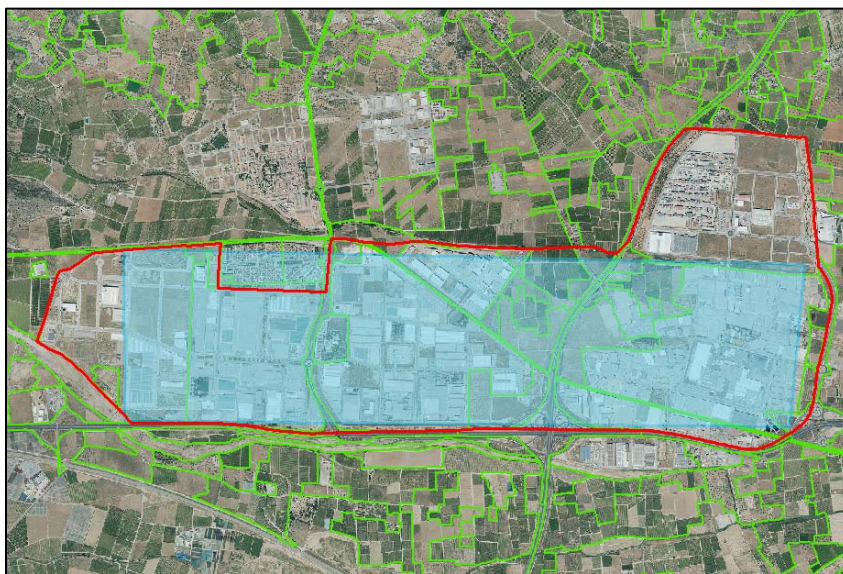


Figura 48: Capa orientativa del límite del área de estudio (azul) , capa de usos del suelo del municipio Riba-roja de Túria (verde) y capa final del límite del área de estudio (rojo). Fuente: *Gas Natural, 2016. SIOSE, 2011. Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

7. Ejecución del modelo geográfico en el Polígono Industrial de Coslada

Una vez preparados los datos necesarios para desarrollar este trabajo, como se ha visto en el apartado anterior, se puede comenzar con la realización del análisis que generará los resultados a estudiar en este proyecto.

El análisis se desarrolla a través de un modelo geográfico que genera una estimación del potencial fotovoltaico en un medio urbano, considerando la localización óptima de la instalación en los tejados de las edificaciones.

El modelo geográfico requiere una serie de datos principales a través de los cuales construye las capas que tomará como base para la realización del análisis. Estos datos son los siguientes:

- El límite del área de estudio, que servirá como máscara para todas las capas que se vayan creando.
- La capa de los edificios del catastro, que servirá para delimitar los tejados de estos.
- La tabla con los datos sobre la posición del sol, de la cual se seleccionan los valores correspondientes a las horas centrales de cada día del año (de 10:00 a 14:00 horas), que servirá para determinar las sombras.
- Los ficheros LAS, a partir de los cuales se creará el modelo digital de superficie, o lo que es lo mismo, el modelo en 3D.

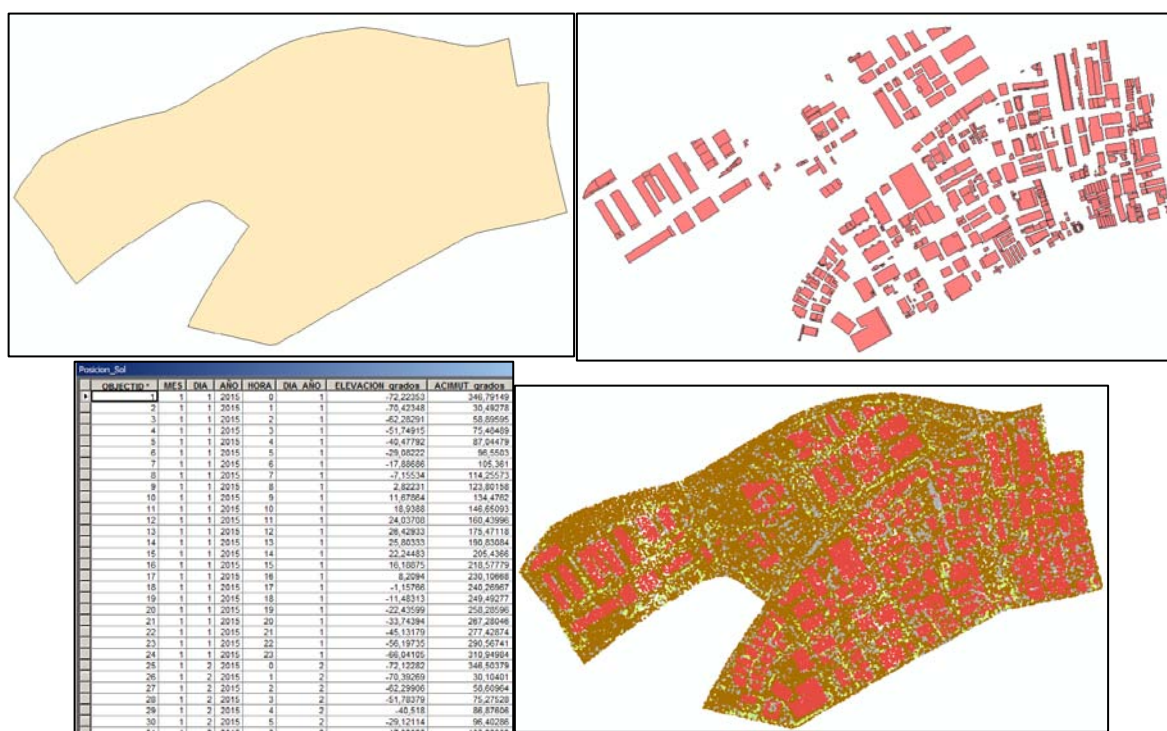


Figura 49: De izquierda a derecha y de arriba abajo: límite del área de estudio, edificios del catastro, tabla de datos de posición del sol, nube de puntos LIDAR. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

Se parte de un modelo tridimensional generado a través de la capa de nube de puntos LIDAR (los ficheros LAS). Esto es el modelo digital de superficie (MDS), a través del cual se consideran las alturas del terreno, la altura y la forma de las edificaciones y la vegetación u otros elementos que puedan interferir de algún modo en los resultados (principalmente, haciendo sombra sobre los tejados de los edificios). Para que el modelo genere la capa TIN y posteriormente la capa MDS (ver Anexo, página I), se integran los ficheros LAS corregidos, a través de los cuales se creará un LAS Dataset.

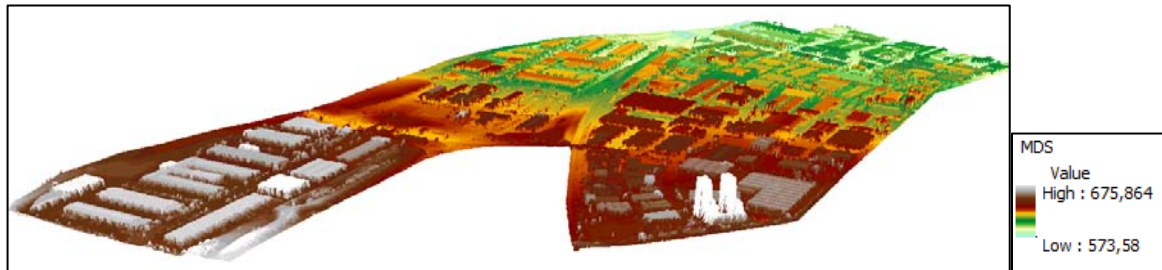


Figura 50: Modelo tridimensional de superficie del polígono de Coslada. Factor de conversión de elevación de 1'3 unidades. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcScene.*

Posterior a esto, el modelo calcula la superficie disponible de los tejados en la cual se podrán ubicar los módulos fotovoltaicos. Para poder efectuar este cálculo, se determinan una serie de criterios a través de los cuales se hallan las localizaciones óptimas para ello. En primer lugar se tiene en cuenta la inclinación (ver Anexo, página II) de los tejados y también hacia dónde están orientados (ver Anexo, página III). También es importante tener en cuenta el criterio de las sombras (ver Anexo, página IV).

Una vez creados todos los criterios necesarios, el modelo realiza un análisis multicriterio de tipo booleano, a través del cual se determinará la superficie útil de los tejados (ver Anexo, página VII) considerando los emplazamientos en los que se cumplan todos los criterios.

Después de esto, es necesario hallar los datos de radiación solar sobre la superficie, lo cual se realizará a través de las herramientas de “Solar Radiation” incluidas en ArcGis, y a partir del modelo digital de superficie, con los cuales se crea un mapa de radiación (ver Anexo, página V).

Cuando el modelo ya ha generado todas estas capas, realiza los últimos cálculos que crean los resultados finales. Esos resultados son, por una parte, el potencial fotovoltaico instalado (ver Anexo, página IX), y por otra parte, la energía eléctrica producida anualmente (ver Anexo, página X). Los resultados dependen también del tipo de módulo fotovoltaico que se esté considerando; en este caso el proyecto se está realizando teniendo en cuenta que las instalaciones que se desarrollaran se hicieran con módulos multicristalinos, presentando una eficiencia del 16%.

Por último, para facilitar la visualización en una cartografía más sintética, el modelo agrupa estos resultados²¹ en una capa vectorial²², recogiendo cada edificio la información que le corresponde.

²¹ La superficie de tejado útil para la instalación de sistemas fotovoltaicos, la potencia instalada en el tejado y la energía producida anualmente por dicha instalación.

7.1. Mejoras realizadas para este proyecto en el modelo geográfico utilizado

Para la realización de este proyecto se ha considerado desarrollar una serie de mejoras en el modelo geográfico del que se ha partido para conseguir algo más de precisión en los resultados.

Hay que tener en cuenta que este trabajo se realiza sobre un ámbito de estudio diferente a los que se han hecho anteriormente. Se trata de un área industrial con edificios de poca altura, generalmente, y con tejados que presentan mucha superficie, además de un espacio en el que se localizan menos elementos que interfieran generando sombras, ya que no hay mucha presencia de vegetación.

Por ello, se considera precisar más en una serie de valores que definen la radiación solar de la superficie a estudiar. Estos valores son, por una parte la transmisividad o índice de claridad²³, y por otra parte la proporción de radiación difusa²⁴.

En proyectos anteriores se han aplicado valores estándar a estos parámetros para todo el año. Actualmente se aplican valores más precisos hallados a través de unas fórmulas obtenidas del libro “*Caracterización de la radiación solar como recurso energético*”, CIEMAT, 2007. Para la resolución de estas fórmulas es necesario incluir los valores mensuales de radiación horizontal obtenidos de PVGIS. De esta forma, se halla la radiación mensual para tener en cuenta las variaciones que se dan en estos valores dependiendo del mes. Así, aunque los resultados finales se generen anualmente, en el proceso se han incluido valores que proporcionan mayor precisión y veracidad en dichos resultados.

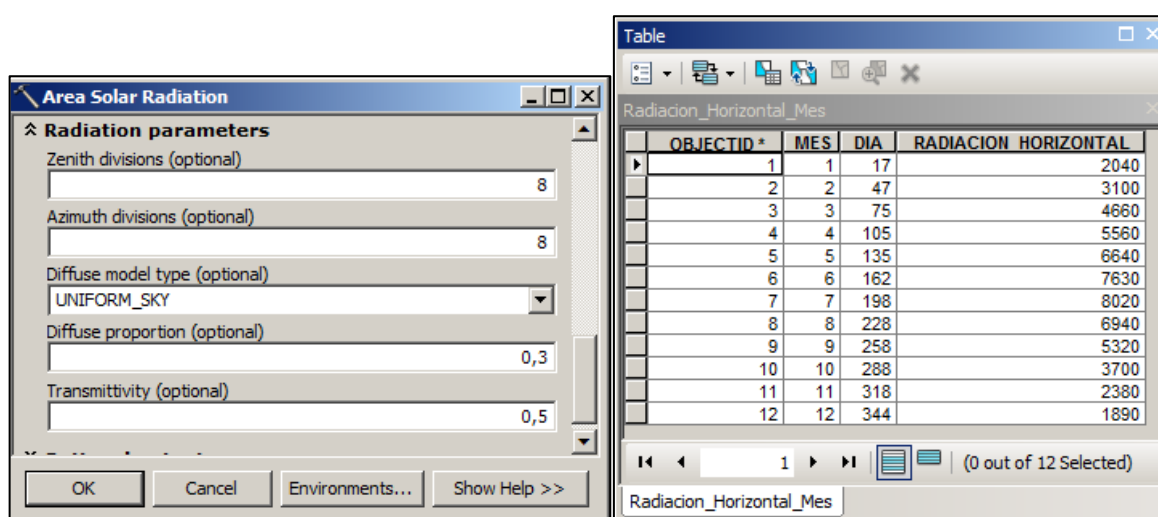


Figura 51: Imagen izquierda: Herramienta de radiación solar con los valores KT y KD que se usaban anteriormente. Imagen derecha: Datos de radiación horizontal mensual. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016.*

²² El resto de capas que se han creado en el modelo son de tipo ráster, con una resolución de un metro por un metro para cada celda.

²³ KT: Indica la proporción de radiación solar que puede atravesar un material.

²⁴ KD: Indica el porcentaje de la cantidad de radiación difusa que alcanza el emplazamiento.

	Hh (Wh/m2) (PVGIS)	Día del mes	Día del año (n)	Declinación (δ)	Formula intermedia	Ángulo horario (ws)	Ho (Wh/m2)	KT	KD
Enero	2040	17	17	-20,92	0,326	1,239	4151,8	0,491	0,439
Febrero	3100	16	47	-12,95	0,196	1,374	5636,9	0,550	0,382
Marzo	4660	16	75	-2,42	0,036	1,535	7566,9	0,616	0,319
Abril	5560	16	105	9,41	-0,141	1,713	9586,1	0,580	0,353
Mayo	6640	15	135	18,79	-0,290	1,865	11016,6	0,603	0,331
Junio	7630	15	162	23,09	-0,363	1,942	11601,1	0,658	0,279
Julio	8020	15	198	21,18	-0,330	1,907	11292,9	0,710	0,228
Agosto	6950	15	228	13,45	-0,204	1,776	10125,2	0,686	0,251
Septiembre	5320	16	258	2,22	-0,033	1,604	8285,3	0,642	0,294
Octubre	3700	16	288	-9,60	0,144	1,426	6194,7	0,597	0,337
Noviembre	2380	17	318	-18,91	0,292	1,275	4494,9	0,529	0,402
Diciembre	1890	17	344	-23,05	0,363	1,200	3747,8	0,504	0,426
Año	4824,2	191					7808,34	0,60	0,34
	Isc (Wh/m2*día)	Latitud (Ø)							
	1367	40,43							

Figura 52: Tabla de datos para hallar el índice de claridad y el porcentaje de difusa. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en Excel.*

Otro de los cambios que se ha realizado en este modelo para adaptarse mejor a los resultados generados para este tipo de área de estudio, viene relacionado con la exposición más clara de estos resultados.

En este caso, como se ha dicho anteriormente, se está analizando un área que presenta grandes superficies de tejado al tratarse de naves industriales, lo que se transforma en datos finales con cifras muy elevadas que no pueden leerse con claridad en un primer vistazo.

En el modelo anterior a estas mejoras, todos los datos de radiación, energía y potencia se expresaban kWh.²⁵ y kW., respectivamente. En el modelo utilizado para este proyecto se han cambiado las unidades de energía y radiación a MWh.²⁶ debido al gran tamaño que presentan las cifras de los resultados, de esta forma, serán más fáciles de analizar en su representación.

²⁵ Kilovatio por hora, o mil vatios por hora.

²⁶ Megavatio por hora, o mil kilovatios por hora.

8. Análisis y cartografía de los resultados

Una vez ejecutado el modelo geográfico, se generan una serie de datos visibles a través de capas de tipo ráster, excepto una de tipo vectorial que presenta los resultados finales. En este apartado se van a analizar los resultados obtenidos, tanto los intermedios como los finales, ya que los primeros son imprescindibles para poder entender los segundos. Para mostrar de una forma más clara los resultados que se están analizando, no solo se expondrán las capas si no una composición cartográfica más elaborada de cada uno de ellos.

En los resultados intermedios se incluyen los siguientes mapas:

- Modelo Digital de Superficie del Polígono Industrial de Coslada.
- Inclínación de los tejados del Polígono Industrial de Coslada.
- Orientación de los tejados del Polígono Industrial de Coslada.
- Sombras en los tejados del Polígono Industrial de Coslada.
- Radiación solar anual en los tejados del Polígono Industrial de Coslada.

En los resultados finales se incluyen los siguientes mapas:

- Radiación solar total anual en cada tejado del Polígono Industrial de Coslada.
- Superficie útil por tejado del Polígono Industrial de Coslada.
- Potencia instalada por tejado del Polígono Industrial de Coslada.
- Energía generada en cada tejado del Polígono Industrial de Coslada.

Por tanto, como ya se ha dicho, es conveniente analizar previamente los resultados intermedios de este estudio.

En primer lugar, se observa el mapa del Modelo Digital de Superficie (ver Anexo, página I) para conocer la estructura que conforma el relieve junto con los elementos construidos en el área de estudio. Se puede observar de forma general que la altura va decreciendo desde el oeste hasta al este, debido a la situación en el este del río Jarama. Si se observa la diferencia entre la altura del terreno y la de un edificio colindante, se puede tener una primera aproximación de la altura de los edificios. En este caso, la mayoría de los edificios analizados presentan una altura que ronda entre los 10 y los 15 metros.



Figura 53: MDS de una zona del área de estudio. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016.*
Visualización en ArcMap.

En la parte sur del área de estudio se observa un caso concreto de un edificio (ver Figura 53) que presenta una altura muy elevada. De primeras no se trata de algo relevante ya que este edificio no se va a analizar en este trabajo por ser de tipo residencial; pero si se tiene en cuenta su presencia, ya que debido a su elevada altura y su proximidad a otros edificios que si son analizados, es importante porque puede generar sombras bastante considerables.

En segundo lugar, continuando con los resultados intermedios, es importante observar los mapas de inclinación (ver Anexo, página II) y orientación (ver Anexo, página III) de los tejados.

Si se observan los valores de inclinación de los tejados se puede apreciar que prácticamente en ningún caso se sobrepasan los 20° , solamente en los límites de los tejados, lo que no es relevante ya que esa zona se deshecha en el modelo. En general se observa que la mayoría de los tejados analizados presentan una inclinación muy baja o prácticamente nula, siendo esta inferior a 15° en su mayor parte. Este dato indica un resultado positivo especialmente si se considera en la época de verano, ya que el sol presenta una altura mayor y por lo tanto incide más en una superficie plana. En cambio, en la época de invierno, es más relevante considerar los datos de orientación del tejado, ya que el sol no está tan alto y no se aprovecha tanto una superficie totalmente plana.



Figura 54: Mapa de inclinación de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

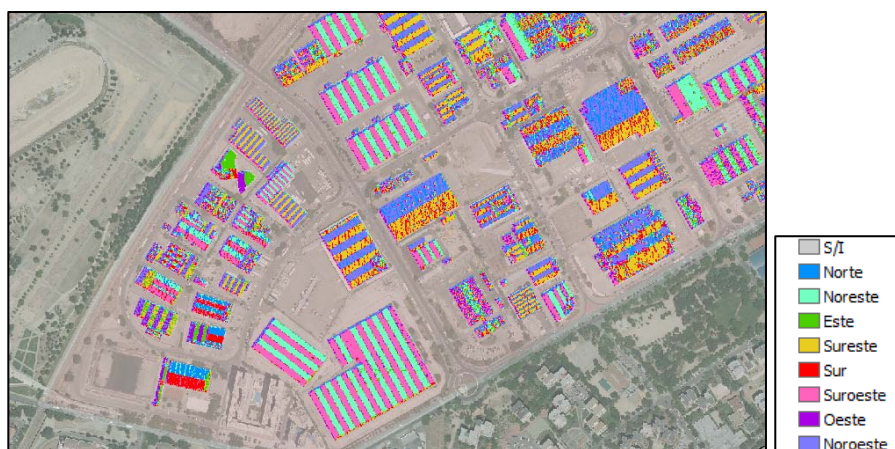


Figura 55: Mapa de orientación de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

Es por ello que, al presentar resultados distintos si se tiene en cuenta la época de año y la combinación de una inclinación y una orientación determinada, no se pueden intuir tan claramente los resultados finales que determinen que zonas del tejado son las más óptimas para instalar los módulos fotovoltaicos, aunque generalmente, las zonas de los tejados más inclinadas y orientadas hacia el norte se descartan en el modelo.

En el caso del mapa de sombras (ver Anexo, página IV), queda reflejada la importancia de aspectos que se han considerado anteriormente, como es el caso de la altura de los edificios y el de la inclinación de los tejados.

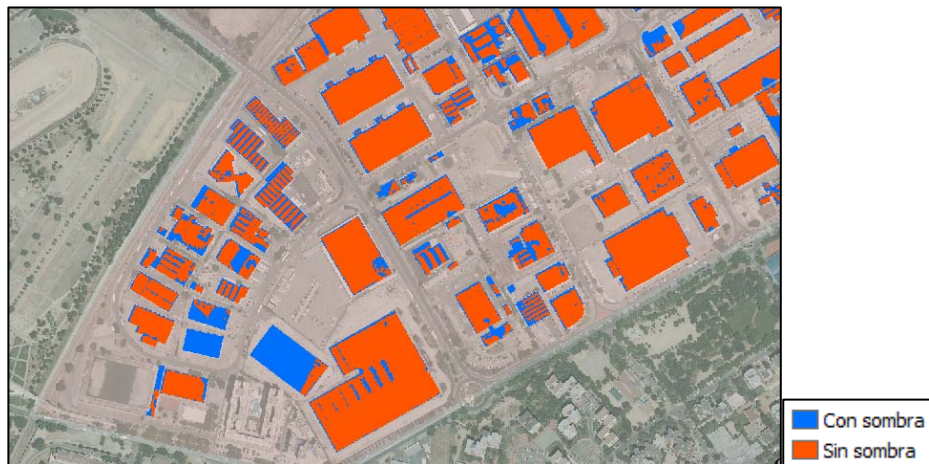


Figura 56: Mapa de sombras de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.*

En el primer caso se observa el ejemplo que se ha tomado en el análisis de los resultados del MDS, y se comprueba que efectivamente, el edificio residencial que presenta una elevada altura, genera sombras muy considerables en los tejados de los edificios colindantes, tanto que estos quedan prácticamente descartados en su totalidad.

En el segundo caso, se puede comprobar la influencia que presenta la inclinación de los tejados en cuanto al análisis de las sombras. Es por ello que, al presentar la mayor parte de las superficies de los tejados prácticamente planas, estos obtienen muy pocas zonas sombreadas que se deban a la inclinación.

Si se observa el mapa de radiación solar global anual de los tejados (ver Anexo, página V), el cual muestra el total de radiación anual por cada celda que conforma el tejado de los edificios, se puede apreciar que dicha radiación es muy alta en la mayor parte de los tejados.

Los resultados visuales de este mapa se asemejan bastante en su forma a los resultados del mapa de inclinación, por lo que se puede deducir que está influye en gran medida en la radiación incidente en las superficies analizadas. Es por ello que, igual que en el caso de la inclinación, los resultados muestran valores bastante elevados en la mayor parte de la superficie de cada tejado, exceptuando los bordes de estas superficies, que están representados por tonos más amarillentos y verdosos.

Es interesante visualizar este mapa para conocer cuánta radiación recibe la superficie por cada metro cuadrado, pero resulta más útil analizar el mapa que muestra la radiación total que presenta cada tejado (ver Anexo, página VI).

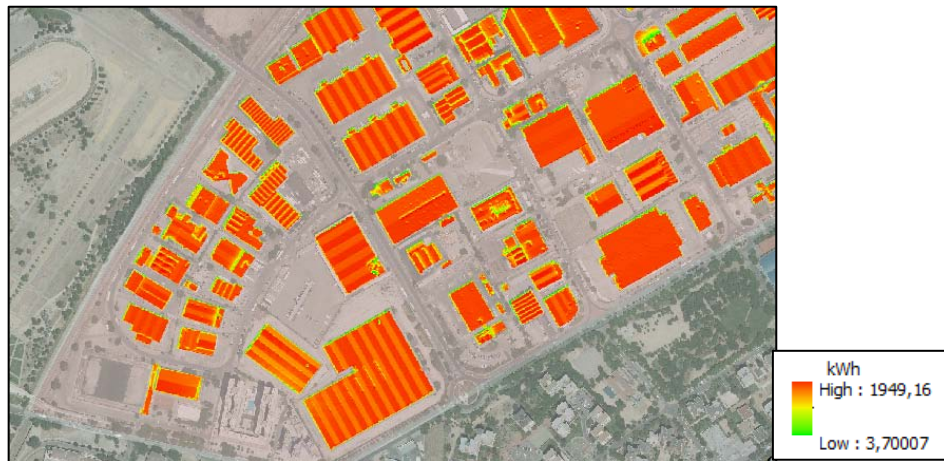


Figura 57: Mapa de radiación global anual de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

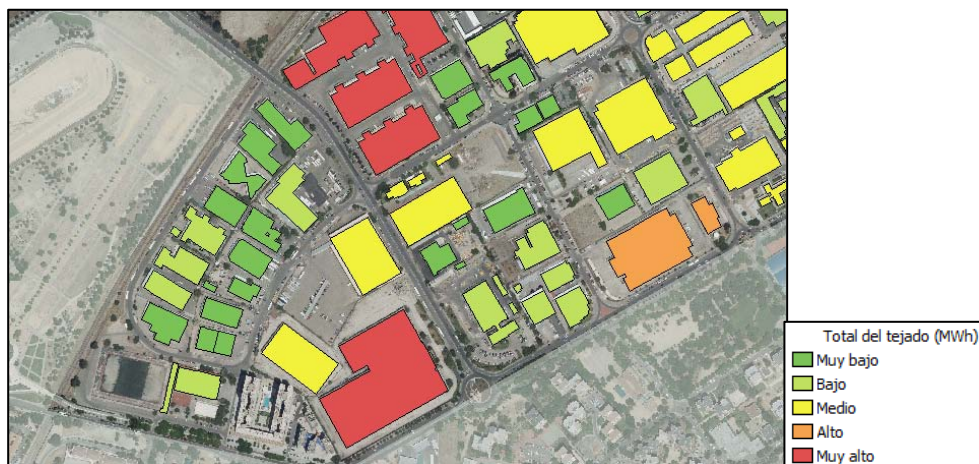


Figura 58: Mapa de radiación global anual por tejado de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

Los resultados son más claros si se observa el mapa de radiación global anual por tejado, como se ha mencionado anteriormente, ya que se puede comprobar realmente la radiación que tiene cada tejado, y por lo tanto se puede prever qué edificios van a poseer mayor eficiencia energética. En estos resultados, por tanto, influye la dimensión de la superficie del tejado, ya que el resultado del dato de radiación es una suma de la radiación de todas las celdas que conforman dicha superficie.

El mapa de radiación por celdas, junto al de la superficie de tejado útil (por celdas también), serán los que proporcionen los resultados finales de potencia y energía. En este caso, se va a analizar el mapa de la superficie útil total por cada tejado, ya que proporciona datos más claros (ver Anexo, página VII).

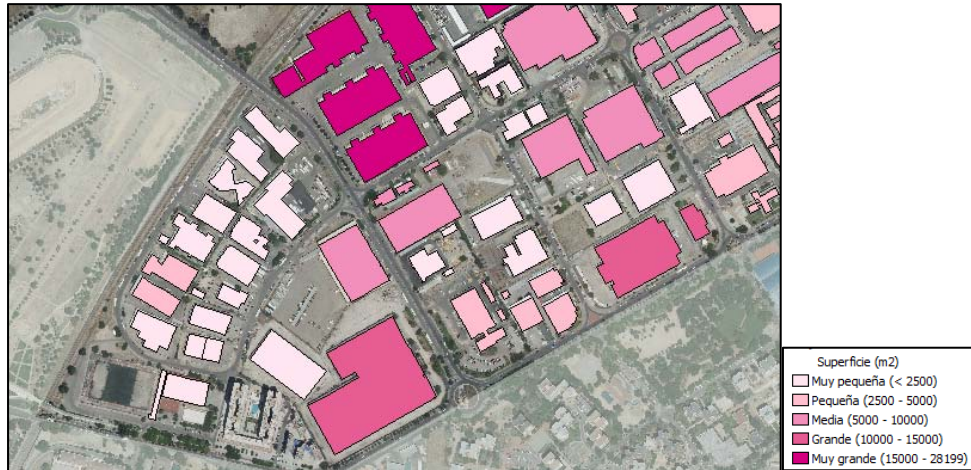


Figura 59: Mapa de superficie de tejado útil de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

Este mapa muestra la superficie de cada tejado que se considera útil para la instalación de módulos fotovoltaicos. Esta superficie es representada por una serie de colores graduales según el número de metros cuadrados.

Como ocurre con el mapa de radiación, los edificios más grandes, por lo general, presentan una cantidad mayor de superficie de tejado útil. Es por ello que, si lo que se quiere comprobar es cuánta superficie se puede aprovechar de cada tejado, sería más apropiado ver un mapa que muestre la proporción de superficie útil en cada uno de ellos (ver Anexo, página VIII). Pero a través del mapa de superficie útil por metros cuadrados se puede prever la cantidad de módulos que se pueden instalar en cada uno, y por tanto, también la potencia.

Por esta razón, si se observa el mapa de potencia instalada (ver Anexo, página IX), los resultados visuales son bastante similares a los del mapa anterior. La potencia que se muestra en el mapa está expresada en kilovatios y se considera que pertenece a módulos fotovoltaicos multicristalinos con una eficiencia del 16%.



Figura 60: Mapa de potencia instalada por cada tejado de una zona del área de estudio y leyenda. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

En este mapa se puede observar como los tejados que presentan un valor de potencia más elevado (representado en rojo) coinciden en la mayoría de los casos con los tejados que presentan una superficie mayor, ya que estos, a su vez, son los que tienen una superficie útil mayor y unos valores de radiación más altos. A su vez, y por la misma razón, los tejados con niveles más bajos de potencia (representado en azul) coinciden con las naves de menor superficie.

Esto es así en la mayoría de los casos, exceptuando aquellos que presentan unas características algo diferentes a las del resto, como pueden ser unos niveles mayores de superficie sombreada, o unos valores de inclinación y orientación que no sean propicios para recibir la radiación del sol.

Combinando los datos de potencia y de radiación, se generan los datos de energía (ver Anexo, página X), ya que esta es generada por los módulos fotovoltaicos dependiendo de cuántos de ellos haya, y qué tipo y eficiencia posean estos, junto a la radiación solar que reciben. Estos valores, al igual que los de la radiación global anual por tejado, son expresados en megavatios por hora, ya que se trata de cifras muy elevadas por la gran superficie que presentan los tejados, y por consiguiente, por las cifras tan elevadas de todas las capas que dependen de esta.

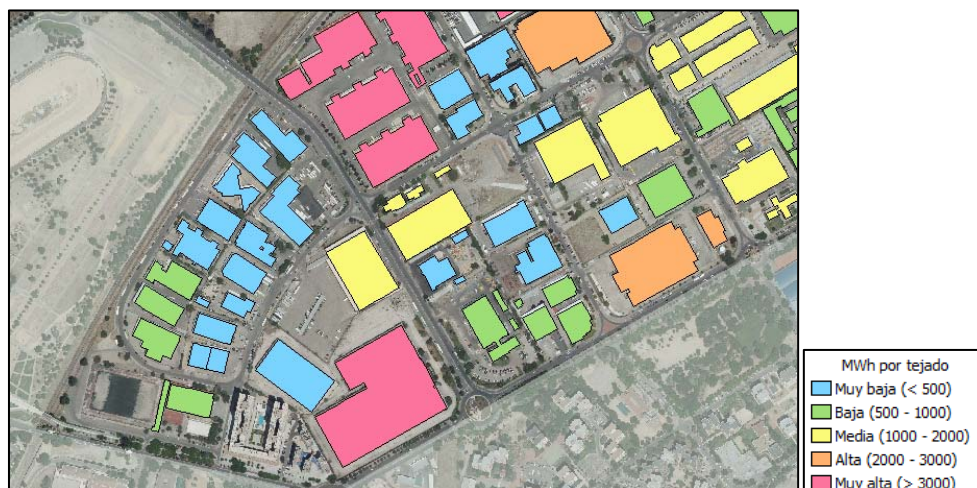


Figura 61: Mapa de energía generada en cada tejado de una zona del área de estudio y leyenda.
Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcMap.

Si se hace un análisis visual en el que se observe el nivel de energía generada y el tamaño del edificio asociado a ese dato, se puede comprobar si resulta un valor acorde con la energía que se pueda gastar por esa nave industrial. Por ejemplo, si el edificio es grande, debería presentar un valor alto de energía para que pueda ser suficiente para el consumo generado²⁷; pero si el edificio es grande y el valor de energía es pequeño, se podría considerar que esta no será suficiente para abastecer las necesidades energéticas de la empresa.

²⁷ Se asume que cuanto más grande sea la superficie del edificio, el consumo también será mayor.

9. Representación cartográfica de los resultados: Visor Web

En el apartado anterior se puede ver un tipo de representación cartográfica, en la que se muestran los resultados obtenidos del análisis de este trabajo, a través de mapas temáticos de coropletas clásicos. Este tipo de mapas se muestran como imágenes con una escala fija, que no se pueden modificar en ningún aspecto.

Es conveniente mostrar los mapas de esta manera generalmente, pero en algunos casos es interesante presentar al usuario interesado los datos de forma que puedan interactuar con ellos para poder poner más atención en aquello que les interesa concretamente.

Una manera apropiada de mostrar los resultados a través de mapas interactivos, es creando un visor cartográfico a través de la plataforma web ArcGis Online²⁸. Se ha seleccionado esta plataforma para plasmar los resultados de este trabajo debido a que todo se ha realizado a través del software ArcGis for Desktop (con su extensión ArcMap), y por esta razón, resulta más fácil volcar todas las capas que contienen los resultados del estudio.

Para comenzar a crear el visor lo primero que hay que hacer es subir las capas que se quieren mostrar en él. Las capas que se utilizarán serán dos: el límite del área de estudio y la capa vectorial de los edificios que recoge en su tabla de atributos todos los datos de los resultados que se quieren representar. Es por ello que esta última capa se representará cinco veces en el visor, para poder visualizar todos los resultados mencionados.

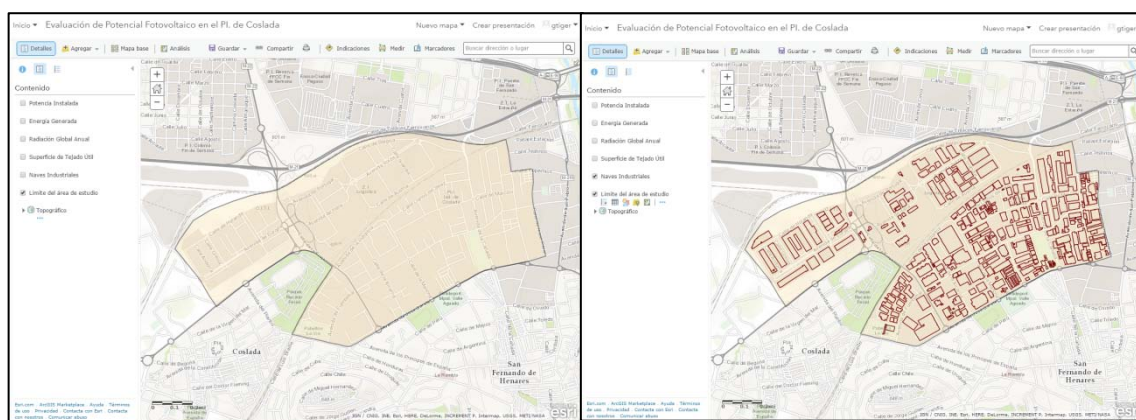


Figura 62: Mapa del límite del área de estudio y mapa de los límites de las naves industriales.
Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGis Online.

Una de las cinco representaciones de la capa mencionada, será la que delimite los edificios del polígono, mostrando solo información de localización.

En esta capa, a su vez, se mostrará una ventana con toda la información relevante que posee cada edificio: superficie del tejado, superficie útil, valor de radiación global anual, potencia instalada y energía generada.

²⁸ “Es un sistema SIG web de colaboración on-line que permite usar, crear y compartir mapas, escenas, aplicaciones, capas, análisis y datos.” Ayuda de ArcGis.

Para mostrar estos datos se configura la ventana emergente que se despliega al seleccionar uno de los edificios. En esta ventana se mostrarán los datos especificados anteriormente de forma ordenada, además del número que se le asigna a cada edificio según el orden que presentan en la tabla de atributos, y el código de la referencia catastral de este.

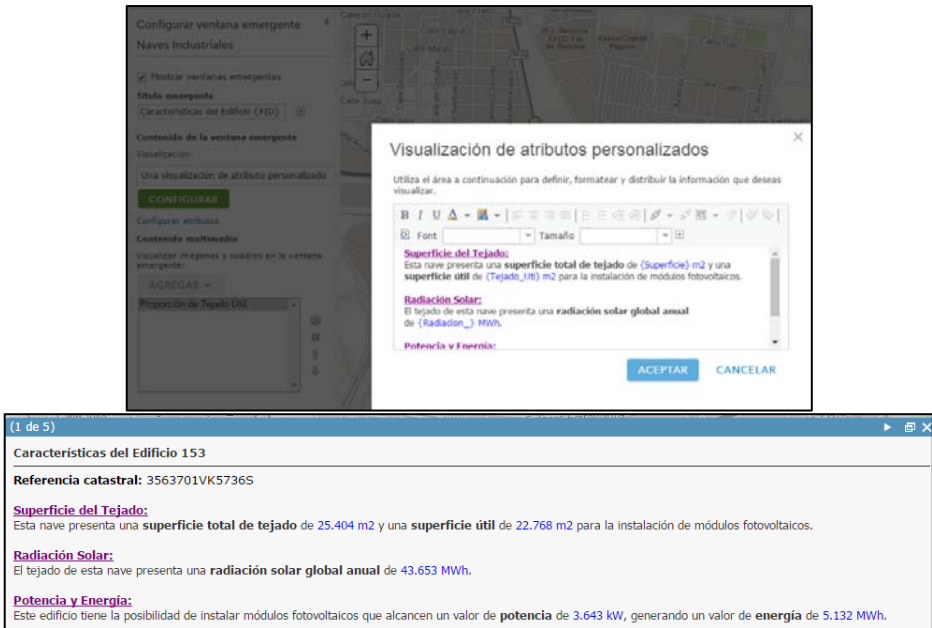


Figura 63: Creación de las ventanas emergentes. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGis Online.

Además de estos datos, también se va a presentar en la ventana emergente de la capa de la delimitación de las naves industriales, el dato que muestre la proporción de tejado útil y la de tejado descartado en cada una de ellas, ya que no se va a mostrar una capa con estos datos en el visor.

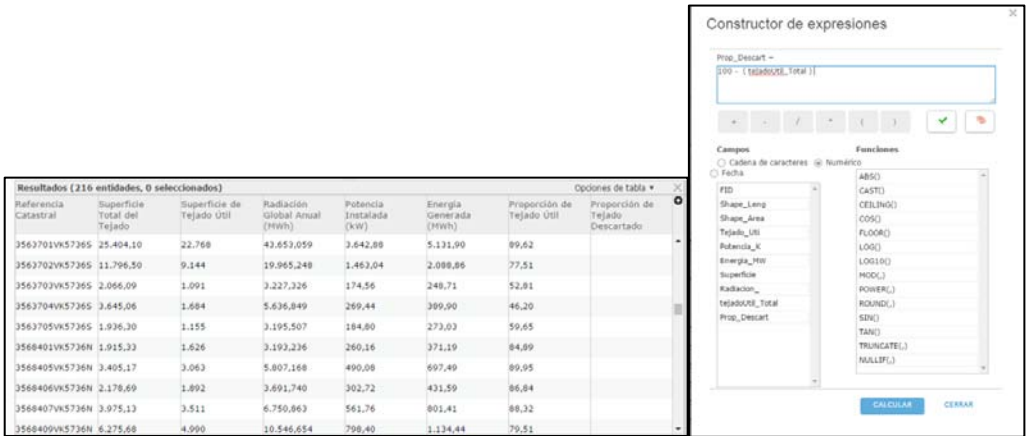


Figura 64: Creación de dos campos nuevos que muestren la proporción de superficie útil de los tejados y la de superficie descartada. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGis Online.

Para ello, es necesario añadir a la tabla de atributos de esta capa dos campos que representen los dos datos que se han mencionado anteriormente. Una vez creados estos campos, se utilizará el constructor de expresiones para calcular el porcentaje de tejado útil y descartado a través de los datos de superficie y superficie útil.

Cuando ya se han creado los datos de proporción de tejado útil y descartado, se vuelve a configurar la ventana emergente seleccionando la opción de añadir un diagrama circular. Con esta opción se seleccionan los datos que forman el diagrama y una leyenda explicativa.

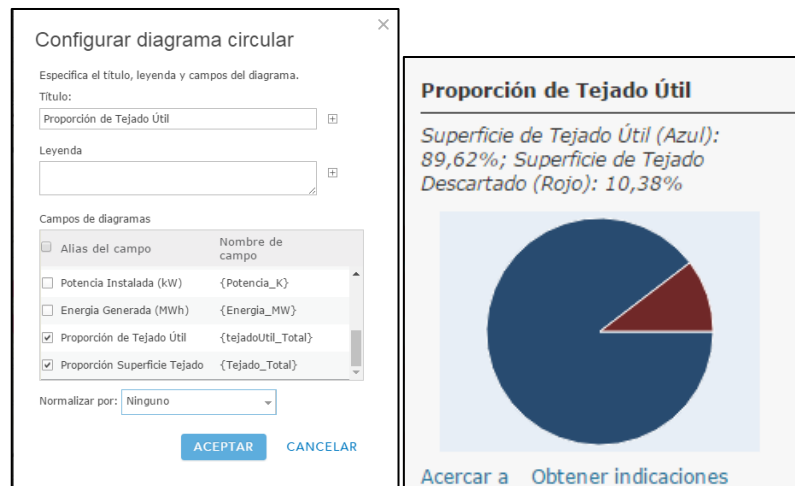


Figura 65: Creación de un diagrama circular que muestra la proporción de tejado útil y la de descartado. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGis Online.

El resultado es una ventana emergente que aparece cuando seleccionas uno de los edificios de la capa que muestra la localización de las naves industriales, y en la que aparecerán los datos descritos anteriormente (ver Figura 63 y Figura 65).

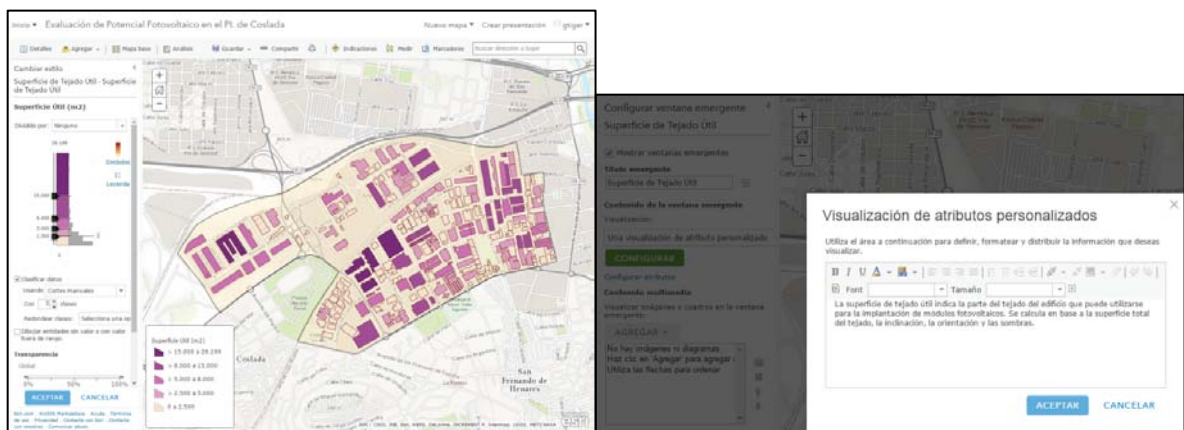


Figura 66: Mapa de superficie de tejado útil y creación de ventana emergente. Fuente: Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGis Online.

En segundo lugar, se van a representar el resto de las capas que mostrarán los datos de interés mencionados antes. Una de estas capas muestra la superficie útil de los tejados en

metros cuadrados. Este dato se visualizará a través de una gama de colores que representen cinco intervalos formados por estos valores.

Además, se creará una ventana emergente también para esta capa. En ella se mostrará una descripción de lo que se está representando, es decir, la explicación de lo que se está considerando como superficie útil del tejado.

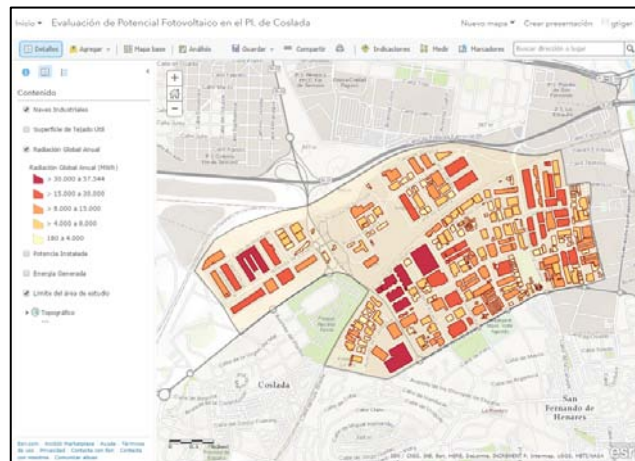


Figura 67: Mapa de radiación global anual. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGIS Online.*

Se realizará el proceso que se acaba de explicar con las otras tres capas restantes. Es decir, tanto la capa de radiación solar, como la de potencia y la de energía, serán representadas a través de un mapa que muestre intervalos de sus valores con una gama de color (todos ellos diferentes para poder diferenciarlos con facilidad). Después de esto, se configurará la ventana emergente de cada una de ellas explicando el parámetro que se está representando.

Todas estas capas serán guardadas formando un solo mapa (Web Map) con la base que se quiera seleccionar (en este caso, el mapa topográfico será la base).

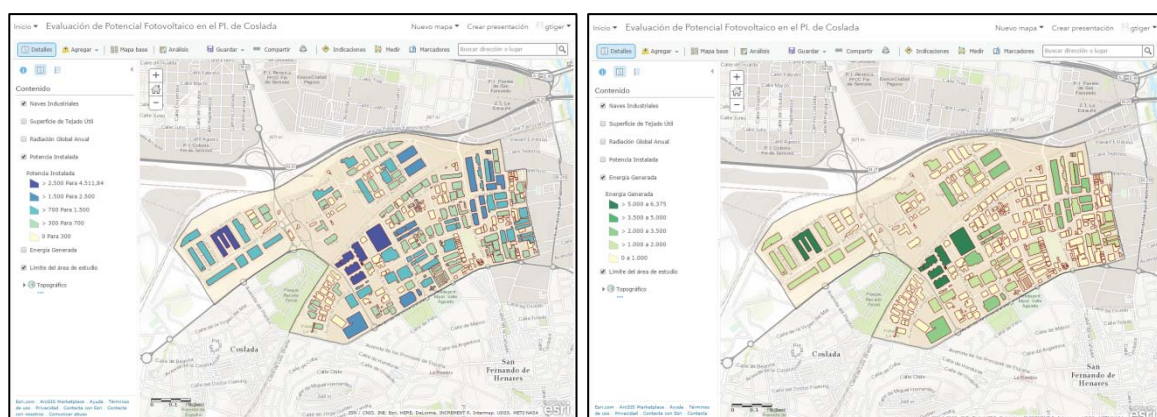


Figura 68: Mapa de potencia instalada y mapa de energía generada. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGIS Online.*

Una vez creado el Web Map, se puede comenzar a confeccionar el visor o Web Mapping Application a través de Web AppBuilder for ArcGIS.

Para crear este visor se selecciona el Web Map a partir del que se hará, incluyendo todas las capas que formaban este mapa y con todas las características que se han ido aplicando a estas capas, como por ejemplo, las ventanas emergentes (ver Anexo, página XIV).

A través de esta web se pueden confeccionar diferentes aspectos del visor (ver Anexo, página XII). En este caso se ha añadido un título que defina el tema del mapa y un subtítulo que indica el proyecto al que pertenece, junto con el logo de la organización (Ciemat). También se ha añadido un buscador, por si el usuario quiere localizar un edificio concreto a partir de su dirección.

Además se pueden añadir todos los widgets que sean necesarios (ver Anexo, páginas XII y XIII); en este caso, se han añadido los clásicos para acercar, alejar y aplicar una extensión determinada, además de la escala y las coordenadas; los básicos para poder seleccionar las capas y consultar la leyenda; también uno que despliega una ventana de información sobre el mapa, otro para cambiar el mapa base, y otro para dividir la ventana en dos y poder comparar dos capas.

Por otra parte se puede seleccionar el tema del visor, es decir, la apariencia que tendrá, el color, o la colocación de los elementos. En este caso, se puede consultar también la tabla de atributos desde el visor, de esta forma se podrán observar los datos con mayor exactitud, e incluso exportarlos si el usuario estuviera interesado en ello.

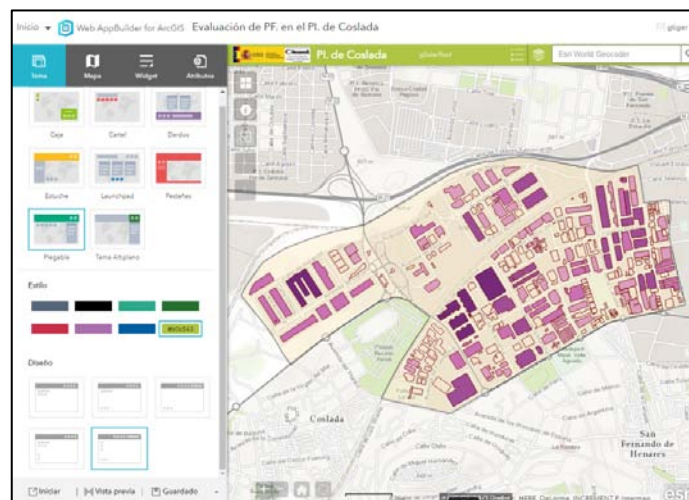


Figura 69: Creación del visor web con Web App Builder for ArcGis. Fuente: *Grupo de trabajo gTIGER, 2016. Visualización en ArcGis Online.*

Una vez seleccionadas las características a través de todas las opciones que ofrece esta web para crear visores, ya se puede consultar el mapa interactivo que se ha creado (ver Anexo, página XI). En este caso, es suficiente con entrar en el enlace que genera, ya que se ha seleccionado la opción de compartirlo de forma pública, sin necesidad si quiera de tener una cuenta en ArcGis Online.

El visor web que muestra el mapa del estudio sobre evaluación del potencial fotovoltaico en los tejados del polígono industrial de Coslada, es el siguiente:

❖ <http://ciemat.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6f0306914034437a8457cd3cb08c01e1>

10. Conclusiones

Este proyecto muestra una evaluación aproximada de la instalación de sistemas fotovoltaicos en el Polígono Industrial de Coslada, aportando unos resultados que acercan al usuario a la decisión de aplicar esta medida para su empresa. A la vez que se hallan estos resultados, se muestran los aspectos positivos que presenta la utilización de un SIG para este tipo de estudio, y la utilidad que posee el método de exponer dichos resultados.

El problema que presenta el medio ambiente respecto de su conservación es algo ya muy presente en la población, aunque mucha de esta no es aún consciente de las medidas que puede tomar para colaborar en la solución de este problema, o simplemente busca la rentabilidad en esa solución pero no está bien informado. Esta solución viene dada a partir de las energías renovables, ya que su utilización supone un ahorro energético considerable y un desahogo para el planeta, dejando de utilizar de manera tan descontrolada las energías fósiles.

Es importante que el país desarrolle unas políticas concordantes con el desarrollo de las energías renovables, pero a la vez la sociedad tiene que ser partícipe de este cambio, y para ello necesitan información que revele las ventajas de la utilización de este tipo de energías. Entra en juego la idea de autoconsumo, que permite al usuario abastecerse de energía a través de la propia instalación localizada en su vivienda o empresa.

Este trabajo se centra en analizar un tipo de área urbana muy concreta por sus características; se trata de un polígono industrial. Estas áreas se caracterizan por estar constituidas por un conjunto de naves en las que se localizan diferentes empresas, en la mayoría de los casos con un gran peso económico. Además de ello son zonas apartadas de la ciudad, que se sitúan junto a ellas formando parte del continuo urbano, pero siempre presentándose de forma aislada. Este hecho ocurre por los antecedentes de la industria, que se consideraban espacios sucios y mal vistos que se situaban alejados de la ciudad y en las zonas más pobres (normalmente localizadas al sur). Es por ello que actualmente se pretende integrar los polígonos industriales en la ciudad; para ello, en primer lugar deberían dejar de ser considerados como espacios sucios, y uno de los métodos para que esto ocurra es la utilización de energías limpias.

Esto es importante además en el área de estudio de este proyecto, ya que se trata de una zona industrial de gran importancia en la Comunidad de Madrid formando parte de un eje económicamente importante localizado en el este de esta comunidad. Por ello, adquiriría mayor valor aún si se involucra con el medio ambiente a través de la utilización de energías renovables.

En este trabajo se ha considerado que la manera más indicada de que un polígono industrial utilice energías limpias, es a través de la implantación de sistemas fotovoltaicos en sus tejados, que abastezcan a las empresas de energía eléctrica para el desarrollo de su trabajo. La implantación de estos sistemas generaría una visión mucho más limpia y comprometida con el medio ambiente por parte de la empresa, además de acabar con esa barrera que se ha mencionado anteriormente entre la ciudad y el espacio industrial si se realizara a escala de conjunto. Además de esto, las empresas generarían una serie de beneficios obtenidos a través del ahorro energético que se daría con el cambio en el sistema de abastecimiento eléctrico.

A simple vista esta idea parece muy clara, pero se trata de un desarrollo que no es considerado de manera cotidiana, lo que genera mucha desinformación en la población.

Esto podría cambiar realizando estudios que sirvieran para informar a la población, o en este caso a los empresarios, de los beneficios que podrían obtener aplicando estos sistemas. Es por ello que, en este trabajo, se muestra un ejemplo de evaluación para una posible instalación de sistemas fotovoltaicos en un área concreta. Este estudio, al elaborarse sobre varias edificaciones y no una sola, no proporciona resultados exactos, pero es muy útil para lo que se pretende: informar a posibles usuarios interesados en la aplicación de sistemas fotovoltaicos en su empresa.

Se ha considerado que la forma más apropiada de realizar este tipo de estudio es a través de un Sistema de Información Geográfica, ya que es óptimo para estudiar un área compuesta por diversos elementos en un territorio. Se parte de un modelo creado con anterioridad, que a través de un análisis multicriterio de los elementos que influyen en la obtención de la energía solar fotovoltaica, genera una serie de resultados en forma de datos espaciales que proporcionan una primera aproximación de la instalación de estos sistemas.

Los resultados obtenidos de la elaboración de este análisis muestran datos muy positivos a simple vista. Se trata de un área muy homogénea compuesta por edificaciones con tejados de mucha superficie y la mayoría de ella sin inclinación, además de no presentar prácticamente elementos en el entorno que puedan generar sombras y por lo tanto que incapaciten la superficie para la instalación de los módulos. En general los resultados muestran como la potencia y la energía son mayores cuanto mayor es el tamaño de la nave, lo que indica principalmente que estos datos tienen concordancia. Para completar la información, sería indicado conocer los datos de consumo de estas empresas, para así poder compararlos con los resultados del análisis y comprobar realmente si estos son tan positivos como parecen y si aplicar este sistema generaría beneficios económicos a corto o largo plazo.

El análisis se realiza considerando que la tecnología utilizada son módulos fotovoltaicos multicristalinos con una eficiencia del 16%. Además de ello, se considera que la colocación de estos va en plano. Por esta razón, los resultados generan la posibilidad de plantearse otro tipo de modalidad, como por ejemplo, que los módulos estén instalados sobre estructuras presentándose así de forma inclinada. Esto por una parte generaría más energía al inclinarlos de manera propicia para recibir más radiación solar, pero por otra parte se aprovecharía menos superficie útil, por lo que la potencia instalada sería menor. Otra modalidad que puede ser planteada es la de la lona fotovoltaica. En este caso se generaría menor energía porque su eficiencia es menor, pero se aprovecharía más superficie útil y a la vez, los costes en mantenimiento serían menores.

Esto último lleva a plantearse otro aspecto importante, el impacto visual generado por la implantación de módulos fotovoltaicos. En este caso vuelve a resultar más beneficiosa la implantación de lona fotovoltaica al mimetizarse mejor con la superficie del tejado.

Además de todo lo anterior, este documento también muestra la importancia que tiene la forma en la que se muestran los resultados obtenidos. Esto parte en un primer lugar de la utilización del SIG, ya que se está realizando el análisis a partir de unos datos espaciales que serán más claros a la hora de su comprobación. Aparece así la cuestión de la calidad en los datos y los errores, que puede generar que los resultados no sean correctos. Por eso se expone la importancia que tiene el proceso de la obtención de los datos, realizando esta a través de fuentes fiables, y después editándolos de forma correcta eliminando todos los errores existentes.

Una vez validados los datos y realizado el análisis geográfico, se obtienen una serie de datos espaciales en formato ráster y vectorial, que son expuestos en forma de mapas temáticos a partir de los cuales el usuario podrá extraer la información que se muestra de una forma fácil, clara y concisa, como es observando los edificios analizados representados con una gama de colores que indican el intervalo en el que se encuentran del parámetro estudiado.

Además de ello, puede resultar interesante para el usuario interactuar con esos datos para consultar los que le interesen, comparar varios de ellos o incluso exportarlos para conservarlos. Esta idea se ha materializado con la construcción de un visor web cartográfico en el que el propietario de una empresa localizada en el Polígono Industrial de Coslada pueda conocer una primera aproximación de forma gratuita de los beneficios que obtendría la implantación de módulos fotovoltaicos en su tejado.

En definitiva, se ha realizado este estudio para aportar una visión geográfica a la problemática que presentan las energías renovables en este país, concretamente la fotovoltaica, unido al cambio de imagen por el que deberían pasar las áreas industriales para desarrollarse más. En la actualidad, la mejor forma de complementar una visión geográfica y poder mostrarla a los interesados, es la utilización de los SIG, que gracias a su clara y, en muchos casos, creativa representación puede resultar interesante para cualquier tipo de población.



Figura 70: Diferentes tipos de módulos fotovoltaicos situados en la azotea del edificio 42 del Ciemat. Fuente: *Elaboración propia*.

11. Futuras líneas de investigación

Tras el desarrollo de este trabajo, queda plantearse la continuidad de lo estudiado a través de nuevos proyectos que contengan aspectos relacionados con lo expuesto en este documento, con el fin de seguir profundizando en el tema y de conseguir nuevas mejoras.

Es por ello que, se pueden considerar como posibles líneas de investigación en este tema para el futuro las expuestas a continuación:

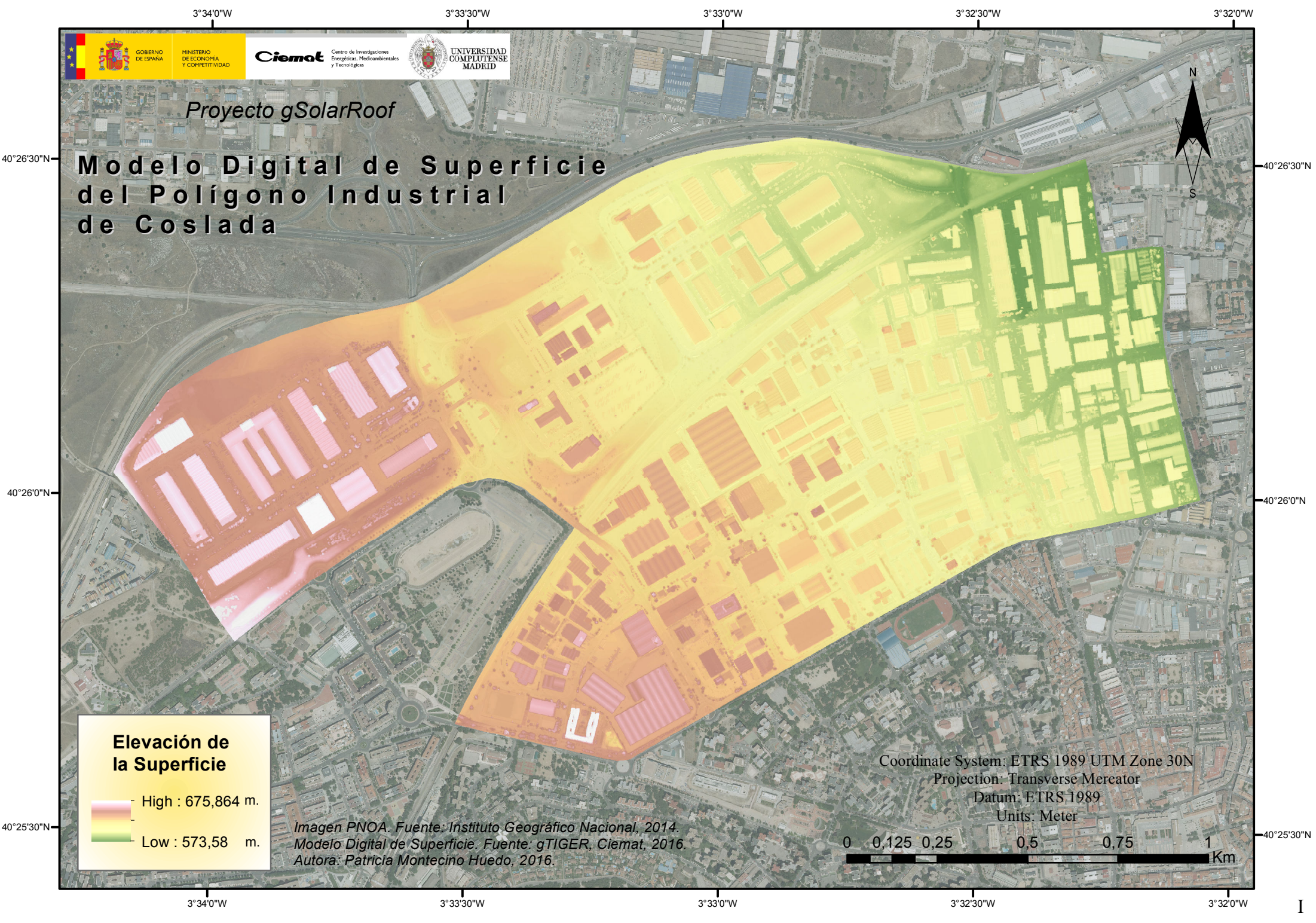
- Una evaluación de cualquier área de estudio contando con los datos de consumo de las edificaciones analizadas para hallar la rentabilidad de aplicar sistemas fotovoltaicos.
- Realizar mejoras en el modelo geográfico para que los datos sean cada vez más precisos, como utilizar datos con una resolución mayor que proporcione resultados más definidos.
- Considerar diferentes tipos de tecnologías para este tipo de análisis y comparar los resultados obtenidos: los módulos inclinados sobre estructuras (fijas o móviles), y los módulos en forma de lona fotovoltaica.
- Crear un visor cartográfico en el que se puedan ir incluyendo los resultados de los análisis que se realicen sobre diferentes territorios, llegando a conformar una superficie concreta que esté analizada por completo.
- Combinar los sistemas fotovoltaicos con los sistemas térmicos en un mismo análisis para considerar la posibilidad de aplicar ambas tecnologías.

12. Referencias bibliográficas y recursos digitales

- María Rodríguez, Antonio Vázquez, Javier Domínguez, Ricardo Quijano y Ciaddy R. Rodríguez: *“Los SIG y la integración iberoamericana a partir del uso de las fuentes renovables de energía”*, 2013.
- Stefan Fritz: *“Aplicación de los SIG al estudio integral de las energías renovables en la comarca de la Sierra de Alcaraz y el Campo de Montiel (Albacete)”*, 2012.
- Beatriz García Domínguez: *“Localización óptima de paneles solares en tejados mediante AUV”*, 2014.
- Ana María Martín Ávila: *“Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra”*, 2014.
- Dra. Ana Rosa Lagunas Alonso: *“Actividades AIE-PVPS: Aplicaciones Fotovoltaicas en la Edificación”*, 2016.
- Ignacio Calvo Herrera: *“Smart Cities: una visión desde la industria. La participación española en la AIE y Smart Cities.”*, 2016.
- José Antonio Ferrer: *“Smart Cities y la EERA. La Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética.”*, 2016.
- José María Campos Domínguez: *“International Energy Agency. Energy in Buildings and Communities Research Programme”*, 2016.
- Luca Bergamasco, Pietro Asinari: *“Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy)”*, 2011.
- María Araceli Gutiérrez Bernal: *“Aplicación de la energía fotovoltaica de capa fina en empresas del sector logístico”*, 2014.
- Laura Alemany Gómez, Edurne Castell Marcos: *“SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco”*, 2013.
- Alberto Berdugo Zamora: *“Estudio del potencial fotovoltaico en Miraflores de la Sierra mediante TIG. Análisis y publicación de resultados”*, 2015.
- Miguel Esturillo Vidal: *“Análisis de la coherencia posicional de las aproximaciones postales del INE a nivel puntual e implementación de estándares posicionales lineales. Su aplicación a los casos de estudio: Cobeña, San Sebastián de los Reyes y Torrelavega en Cantabria”*, 2015.

- Enrique Soria, Cayetano Hernández: “*Energía Eléctrica. Situación de las energías renovables en España a 31 de diciembre de 2015*”, Vértices, la revista del Ciemat, 26, págs. 41-48, 2016.
- Víctor Olaya: “*Sistemas de Información Geográfica*”, capítulo 7, págs.. 185-201, 2014.
- George Cruz: “*Energía Solar. El potencial de energía solar y fotovoltaica*”, 2013.
- Ministerio de Fomento y UPM: “*Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables en España. 28049, Coslada*”, consultado en 2016.
- Sede Electrónica del Catastro: “*Modelo de datos de cartografía vectorial (Formato Shapefile)*”, 2014.
- Centro de Descargas, Centro Nacional de Información Geográfica, IGN: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- SODA, Solar Radiation Data: <http://www.soda-pro.com/web-services/astrometry/solar-geometry-2>
- IDE de la Comunidad Valenciana: <http://terrasit.gva.es/es/descargas>
- Visor de Planeamiento Terrasit, Generalitat Valenciana: <http://terrasit.gva.es/sites/default/static/visor/ICVGeo/ICVGeoplaneamiento.php?lang=es>
- International Energy Agency: <http://www.iea.org/>
- Directorio de Polígonos, Empresas y Sectores relacionados: <http://www.gestiondepoligonos.com/nlocalizador.php?id=28&idRegion=&idTown=4528>
- Puerto Seco de Madrid: <http://www.puertoseco.com/espa%C3%B1ol/cartadebienvenida2.html>
- Ecured: <https://www.ecured.cu/Coslada>
- Ayuda ArcGis: <http://resources.arcgis.com/es/help/>
- Ayuda ArcGis Online: <http://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/>

Anexo




Proyecto gSolarRoof

Modelo Digital de Superficie del Polígono Industrial de Coslada



Elevación de la Superficie



High : 675,864 m.

Low : 573,58 m.

Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Modelo Digital de Superficie. Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter





3°34'0"W

3°33'30"W

3°33'0"W

3°32'30"W

3°32'0"W

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Inclinación de los Tejados del Polígono Industrial de Coslada



40°26'30"N

40°26'30"N

40°26'0"N

40°26'0"N

40°25'30"N

40°25'30"N

3°34'0"W

3°33'30"W

3°33'0"W

3°32'30"W

3°32'0"W

Inclinación de los Tejados

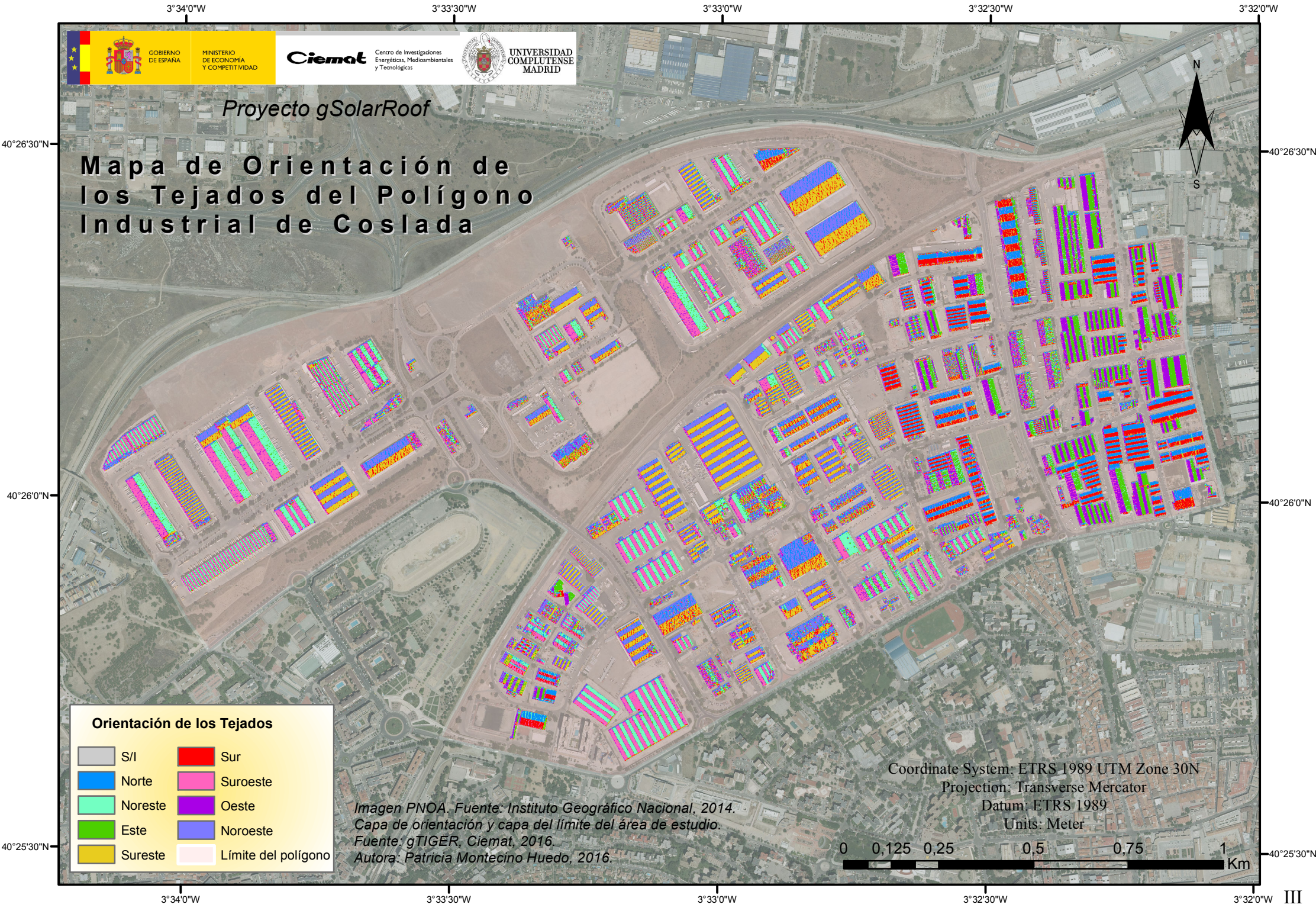
Grados

- 0 - 15
- 15 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60
- 60 - 83,62293243
- Límite del polígono

*Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Capa de inclinación y capa del límite del área de estudio.
Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.*

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter

0 0,125 0,25 0,5 0,75 1 Km



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Orientación de los Techados del Polígono Industrial de Coslada





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas






UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Sombras en los Tejados del Polígono Industrial de Coslada



Sombras en los Tejados

-  Con sombra
-  Sin sombra
-  Límite del polígono

*Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Capa de sombras y capa del límite del área de estudio.
Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.*

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter

0 0,125 0,25 0,5 0,75 1 Km



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Radiación Solar en los Tejados del Polígono Industrial de Coslada

Radiación Global Anual

kWh



High : 1949,16

Low : 3,70007



Límite del polígono

*Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Capa de radiación solar y capa del límite del área de estudio.
Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.*

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter





GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Radiación Global Anual de los Tejados del Polígono Industrial de Coslada



Radiación Global Anual

Total del tejado (MWh)

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

*Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Capa de radiación global anual por tejado.
Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.*

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter

0 137,5 275 550 825 1.100 Metros



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Superficie Útil de los Techados del Polígono Industrial de Coslada



Techo Útil

Superficie (m2)

- Muy pequeña (< 2500)
- Pequeña (2500 - 5000)
- Media (5000 - 10000)
- Grande (10000 - 15000)
- Muy grande (15000 - 28199)

Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.

Capa de superficie útil por tejado.

Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.

Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N

Projection: Transverse Mercator

Datum: ETRS 1989

Units: Meter

0 137,5 275 550 825 1.100 Metros



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Proporción de Superficie Útil de los Tejados del Polígono Industrial de Coslada



Superficie Útil Porcentaje

- < 25%
- 25% - 50%
- 50% - 70%
- 70% - 85%
- > 85%

*Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Capa de proporción de superficie útil por tejado.
Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.*

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter

0 137,5 275 550 825 1.100
Metros



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Potencia Instalada en los Tejados del Polígono Industrial de Coslada



Potencia Instalada KW por tejado

- Muy baja (< 300)
- Baja (300 - 700)
- Media (700 - 1500)
- Alta (1500 - 3000)
- Muy alta (> 3000)

Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.
Capa de potencia instalada por tejado.
Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.
Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989
Units: Meter

0 137,5 275 550 825 1.100 Metros



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto gSolarRoof

Mapa de Energía Generada en los Tejados del Polígono Industrial de Coslada



Energía Generada

MWh por tejado

- Muy baja (< 500)
- Baja (500 - 1000)
- Media (1000 - 2000)
- Alta (2000 - 3000)
- Muy alta (> 3000)

Imagen PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2014.

Capa de energía generada por tejado.

Fuente: gTIGER, Ciemat, 2016.

Autora: Patricia Montecino Huedo, 2016.

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N

Projection: Transverse Mercator

Datum: ETRS 1989

Units: Meter

0 137,5 275 550 825 1.100 Metros

Imagen 1. Visor cartográfico.

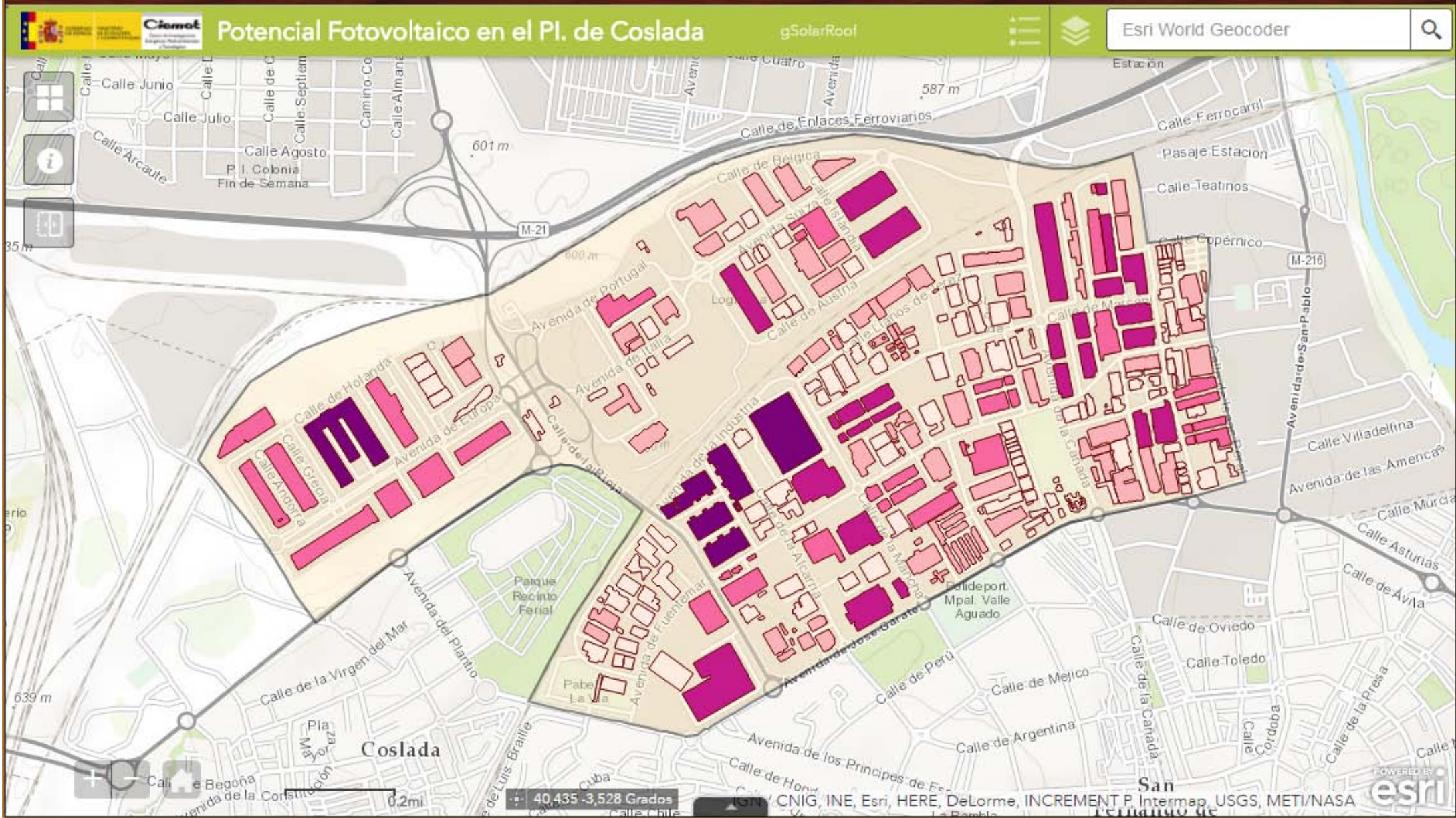


Imagen 2. Visor cartográfico: elementos presentes en la ventana.

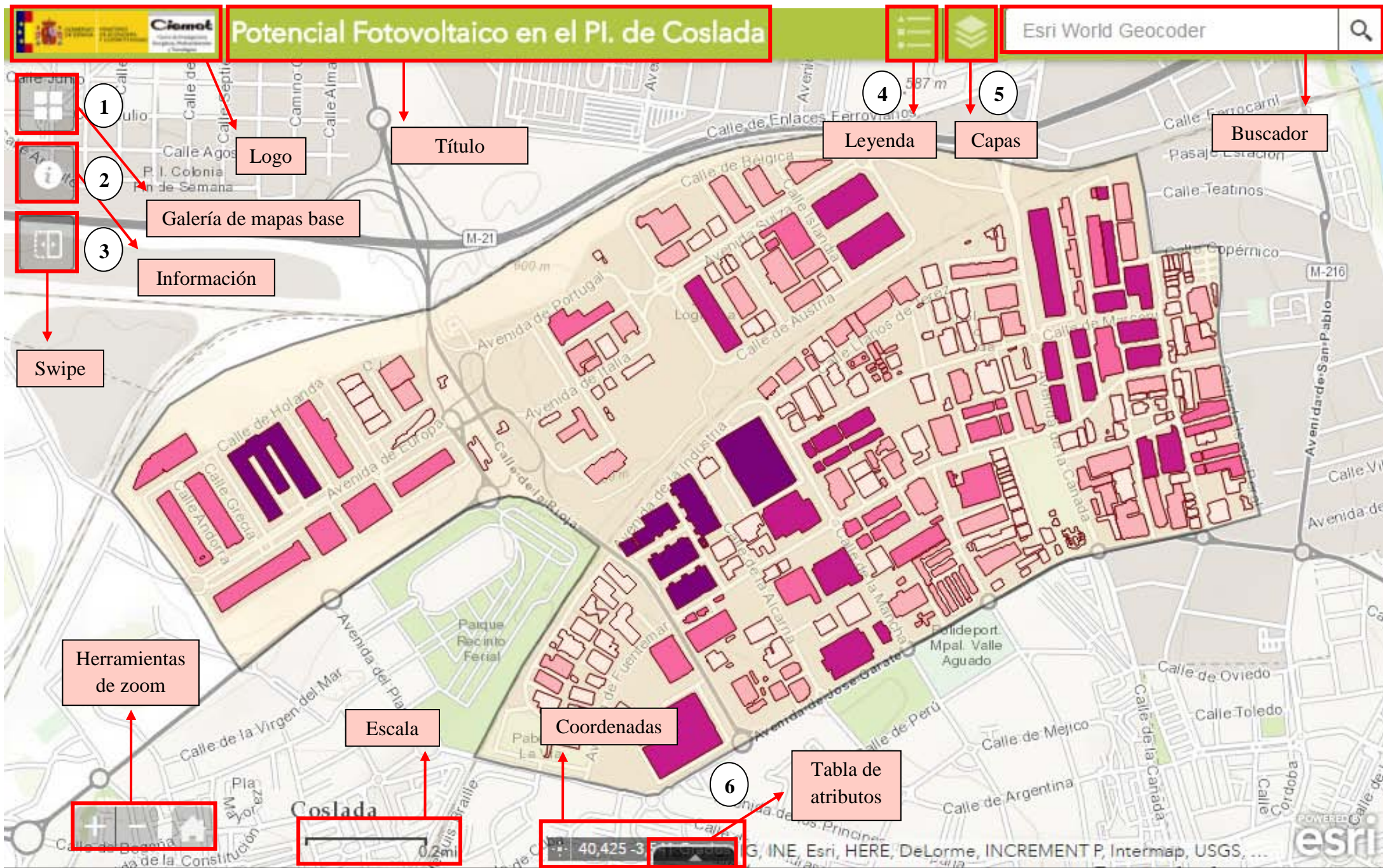


Imagen 3. Visor cartográfico: utilización de los widgets.

1

Potencial Fotovoltaico en el PI. de Coslada

Galería de mapas base

Calles

Imágenes

Imágenes con etiquetas

Lona gris claro

Lona gris oscuro

National Geographic

Océanos

OpenStreetMap

Terreno con etiquetas

2

Potencial Fotovoltaico en el PI. de Coslada

Acerca de

Este mapa muestra un estudio sobre la evaluación del potencial fotovoltaico en los tejados de las naves industriales del Polígono Industrial de Coslada, Comunidad de Madrid. Para ello se muestran datos sobre superficie útil de los tejados, radiación solar incidente en estos, potencia instalada y energía generada.
(Proyecto gSolarRoof, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Elaboración: Patricia Montecino Huedo).

Version del producto: Online 4.3
Version del kernel: 2.2

3

Potencial Fotovoltaico en el PI. de Coslada

Selecciona la capa que desees comparar

Energía Generada

4

gSolarRoof

Esri World Geocoder

Legenda

Potencia Instalada

Potencia Instalada (kW)

> 2.500 a 4.512

> 1.500 a 2.500

> 700 a 1.500

> 300 a 700

0 a 300

Radiación Global Anual

Radiación Global Anual (MWh)

> 30.000 a 57.544

> 15.000 a 30.000

> 8.000 a 15.000

> 4.000 a 8.000

180 a 4.000

Límite del área de estudio

5

gSolarRoof

Esri World Geocoder

Lista de capas

Capas operativas

☒ Naves Industriales

☐ Superficie de Tejado Útil

☐ Energía Generada

☒ Potencia Instalada

☒ Radiación Global Anual

☒ Límite del área de estudio

6

Potencial Fotovoltaico en el PI. de Coslada

Naves Industriales

Energía Generada

Potencia Instalada

Límite del área de estudio

Opciones

Filtrar por extensión de mapa

Acercar a

Borrar selección

Actualizar

FID	REFCAT	Shape_Leng	Shape_Area	Tejado_Uti	Potencia_K	Ener
2	1963401VK57165	491,03	9.097,17	5.106	817	1.16
4	3965502VK57465	321,30	3.504,63	3.009	481	690
5	3965503VK57465	728,03	7.962,62	6.160	986	1.41
7	3965504VK57365	310,09	5.502,56	3.237	518	762
8	2162501VK57265	1.337,33	25.571,01	22.591	3.615	5.161
9	3212101VK57265	520,44	10.450,33	5.057	853	1.20

129 entidades 0 seleccionados

XIII

Imagen 4. Visor cartográfico: ventanas emergentes.

